

14. 7. 2004

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

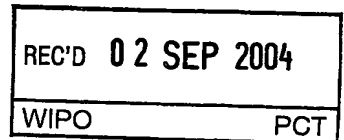
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2004年 1月14日

出 願 番 号
Application Number: 特願2004-007123
[ST. 10/C]: [JP2004-007123]

出 願 人
Applicant(s): 株式会社荏原製作所

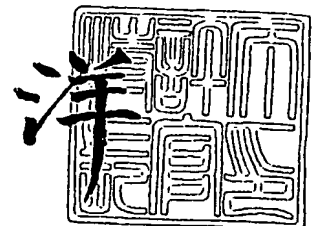


PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 8月20日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川



【書類名】 特許願
【整理番号】 EB3168P
【提出日】 平成16年 1月14日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 B23H 03/00
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社 荏原製作所内
 【氏名】 飯泉 健
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社 荏原製作所内
 【氏名】 野路 郁太郎
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社 荏原製作所内
 【氏名】 安田 穂積
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社 荏原製作所内
 【氏名】 小島 巖貴
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社 荏原製作所内
 【氏名】 廣川 一人
【特許出願人】
 【識別番号】 000000239
 【氏名又は名称】 株式会社 荏原製作所
 【代表者】 依田 正稔
【代理人】
 【識別番号】 100091498
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 渡邊 勇
【選任した代理人】
 【識別番号】 100092406
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 堀田 信太郎
【選任した代理人】
 【識別番号】 100093942
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 小杉 良二
【選任した代理人】
 【識別番号】 100109896
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 森 友宏
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 026996
 【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1
 【包括委任状番号】 9112447
 【包括委任状番号】 0018636

【書類名】特許請求の範囲**【請求項 1】**

被加工物と加工電極とを互いに近接または接触させ、液体の存在下で、被加工物と加工電極との間に電圧を印加しつつ、両者を相対運動させて加工を行う電解加工方法であって、

前記被加工物と前記加工電極との間の相対速度を加工初期では速く、加工後期では遅くすることを特徴とする電解加工方法。

【請求項 2】

被加工物表面の加工に付する薄膜の残膜厚が 600 nm 以下に達したときに、前記被加工物と前記加工電極との間の相対速度を遅くすることを特徴とする請求項 1 記載の電解加工方法。

【請求項 3】

被加工物と加工電極とを互いに近接または接触させ、液体の存在下で、被加工物と加工電極との間に電圧を印加しつつ、両者を相対運動させて加工を行う電解加工方法であって、

前記被加工物と前記加工電極との間の相対速度を加工初期では速く、加工中期では遅く、加工後期では再び前記加工中期より速くすることを特徴とする電解加工方法。

【請求項 4】

被加工物表面の加工に付する薄膜の残膜厚が 600 nm 以下に達したときに、前記被加工物と前記加工電極との間の相対速度を遅くし、薄膜の残膜厚が 50～300 nm のときに、前記被加工物と前記加工電極との間の相対速度を再び速くすることを特徴とする請求項 3 記載の電解加工方法。

【請求項 5】

被加工物と加工電極とを互いに近接または接触させ、液体の存在下で、被加工物と加工電極との間に電圧を印加しつつ、両者を相対運動させて加工を行う電解加工方法であって、

前記被加工物と前記加工電極との間の相対速度を加工初期では遅く、加工後期では速くすることを特徴とする電解加工方法。

【請求項 6】

被加工物表面の加工に付する薄膜の残膜厚が 50～300 nm に達したときに、前記被加工物と前記加工電極との間の相対速度を速くすることを特徴とする請求項 5 記載の電解加工方法。

【請求項 7】

前記被加工物と前記加工電極との間の相対速度を段階的に変化させることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の電解加工方法。

【請求項 8】

前記被加工物と前記加工電極との間の相対速度を連続的に変化させることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の電解加工方法。

【請求項 9】

前記被加工物と前記加工電極との間に接触部材を配置したことを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれかに記載の電解加工方法。

【請求項 10】

前記被加工物に給電する給電電極を備え、この給電電極と被加工物との間に接触部材を配置したことを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれかに記載の電解加工方法。

【請求項 11】

前記接触部材は、イオン交換体または研磨パッドであることを特徴とする請求項 9 または 10 記載の電解加工方法。

【請求項 12】

前記液体は、超純水、純水または電気伝導度が $500 \mu\text{s}/\text{cm}$ 以下の液体であることを特徴とする請求項 1 乃至 11 のいずれかに記載の電解加工方法。

【請求項 13】

被加工物と加工電極とを互いに近接または接触させ、液体の存在下で、被加工物と加工電極との間に電圧を印加しつつ、被加工物及び／または加工電極が所定の周期運動を行うことにより、被加工物と加工電極との間に相対運動を起こさせ加工を行う電解加工方法であって、

前記加工の途中で、前記被加工物及び／または加工電極の運動の周期を変えることを特徴とする電解加工方法。

【書類名】明細書

【発明の名称】電解加工方法

【技術分野】

【0001】

本発明は電解加工方法に係り、特に半導体ウェハ等の基板の表面に形成された導電性材料を加工したり、基板の表面に付着した不純物を除去したりするために使用される電解加工方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、半導体ウェハ等の基板上に回路を形成するための配線材料として、アルミニウムまたはアルミニウム合金に代えて、電気抵抗率が低くエレクトロマイグレーション耐性が高い銅(Cu)を用いる動きが顕著になっている。この種の銅配線は、基板の表面に設けた微細凹みの内部に銅を埋め込むことによって一般に形成される。この銅配線を形成する方法としては、化学気相成長法(CVD)、スパッタリング及びめっきといった手法があるが、いずれにしても、基板のほぼ全表面に銅を成膜して、化学機械的研磨(CMP)により不要の銅を除去するようにしている。

【0003】

図1(a)乃至図1(c)は、この種の銅配線基板Wの一製造例を工程順に示すものである。図1(a)に示すように、半導体素子が形成された半導体基材1上の導電層1aの上にSiO₂からなる酸化膜やLow-k材膜などの絶縁膜2が堆積され、リソグラフィ・エッチング技術によりコンタクトホール3と配線溝(トレンチ)4が形成されている。これらの上にTa₂N₅等からなるバリア層5、更にその上に電解めっきの給電層としてのシード層7がスパッタリングやCVD等により形成されている。

【0004】

そして、基板Wの表面に銅めっきを施すことで、図1(b)に示すように、半導体基材1のコンタクトホール3及び配線溝4内に銅を充填するとともに、絶縁膜2上に銅膜6を堆積する。その後、化学機械的研磨(CMP)により、絶縁膜2上の銅膜6及びシード層7を除去して、コンタクトホール3及び配線溝4に充填させた銅膜6の表面と絶縁膜2の表面とをほぼ同一平面にする。これにより、図1(c)に示すように銅膜6からなる配線が形成される。

【0005】

また、最近ではあらゆる機器の構成要素において微細化かつ高精度化が進み、サブミクロン領域での物作りが一般的となるにつれて、加工法自体が材料の特性に与える影響は益々大きくなっている。このような状況下においては、従来の機械加工のように、工具が被加工物を物理的に破壊しながら除去していく加工方法では、加工によって被加工物に多くの欠陥を生み出してしまうため、被加工物の特性が劣化してしまう。従って、いかに材料の特性を損なうことなく加工を行うことができるかが問題となってくる。

【0006】

この問題を解決する手段として開発された特殊加工法に、化学研磨や電解加工、電解研磨がある。これらの加工方法は、従来の物理的な加工とは対照的に、化学的溶解反応を起こすことによって、除去加工等を行うものである。従って、塑性変形による加工変質層や転位等の欠陥は発生せず、上述の材料の特性を損なわずに加工を行うといった課題が達成される。

【0007】

上述した電解加工や電解研磨では、被加工物と電解液(NaCl, NaNO₃, HF, HCl, HNO₃, NaOH等の水溶液)との電気化学的相互作用によって加工が進行するとされている。また、化学機械的電解研磨のように、めっきをしながらCMPで削るというプロセスも発表されている。

【0008】

最近では、環境負荷、加工される製品の汚染または作業中の危険性などを改善させた金

属の電解加工方法が開発されつつある（特許文献1、特許文献2等参照）。これらの電解加工方法は、純水または超純水を使用して電解加工を行う方法である。純水または超純水は電気をほとんど通さないため、この電解加工方法では、陽極となる被加工物と陰極となる加工電極との間にイオン交換体を配置して被加工物の電解加工が行われる。被加工物、イオン交換体及び加工電極は、総て純水または超純水下に置かれるので、環境負荷の問題及び被加工物の汚染の問題が著しく改善される。また、被加工物である金属は、電解反応により金属イオンとして除去され、イオン交換体に保持される。このように、除去された金属イオンがイオン交換体に保持されるため、被加工物及び液体（純水または超純水）自体の汚染を更に低減させることができ、上記方法は理想の電解加工方法として考えられている。

【0009】

上述したように、イオン交換体を配置した状態で超純水を供給しつつ被加工物を加工する電解加工方法によれば、被加工物の汚染が防止され、環境負荷を著しく低減させることができる。また、上記電解加工方法によれば、各種金属部品の表面に鏡面光沢を与えることができ、さらには、従来の金属機械加工仕上げ方法に必要とされる切削油、研磨剤を含むスラリー、電解液などを不要とすることができる。

【特許文献1】特開2000-52235号公報

【特許文献2】特開2001-64799号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

例えば、イオン交換体を用いた電解加工においては、ある種の電極系（給電電極及び加工電極）を使用して加工を行った場合に、被加工物と加工電極との間の相対速度の変化に伴って、加工速度が変化することが判った。つまり、図2に示すように、被加工物と加工電極との間の相対速度を速めて加工を行うと加工速度が遅くなり、逆に、被加工物と加工電極との間の相対速度を遅くして加工を行う加工速度が速くなる現象が見られた。

【0011】

これは、第1に、ハイドロプレーニング現象が要因と考えられる。つまり、図3に示すように、被加工物Wと加工電極300の表面を覆うイオン交換体（イオン交換膜）302とを互いに接触させながら相対運動させ、被加工物Wと加工電極300との間に電圧を印加しつつ、被加工物Wと加工電極300との間に、純水、好ましくは超純水等の液体を供給して電解加工を行うと、被加工物Wと加工電極300（イオン交換体302）との間の相対速度が遅い場合には、図3（a）に示すように、イオン交換体302と被加工物Wの被加工面との間に水膜304aができる（ハイドロプレーニング現象）が、この水膜304aの厚さは、被加工物Wと加工電極300（イオン交換体302）との間の相対速度が遅い場合に、図3（b）に示すように、イオン交換体302と被加工物Wの被加工面との間にできる水膜304bの厚さより薄いためであると考えられる。つまり、この水膜304a、304bは絶縁体であり、この水膜304a、304bの厚さが厚いほど電解効率が低下し、加工速度も低下する。

【0012】

第2に、反応生成物による電気伝導度の上昇が要因と考えられる。つまり、図3に示す場合と同様にして電解加工を行うと、被加工物Wと加工電極300（イオン交換体302）との間の相対速度が遅い場合には、図4（a）に示すように、被加工物Wの被加工面に対する加工電極300の滞在時間が長く、また加工生成物（銅イオン／銅酸化物や純水の電気分解により発生するOH⁻等）306の排出性も悪くなり、このため、図4（b）に示す、被加工物Wと加工電極300（イオン交換体302）との間の相対速度が速い場合と比較して、加工生成物306の濃度が高まるためであると考えられる。加工生成物306の濃度が高いほど電気伝導度が上昇し、電解効率が向上して、加工速度も向上する。

【0013】

また、例えば、図1（b）に示す、絶縁膜2上の余剰な銅膜6を除去し平坦化して、図

1 (c) に示す配線を形成する作業を、例えば、前述のイオン交換体を用いた電解加工で行うと、加工量に対する残留段差は、一般的に図 5 に示すような関係にあって、加工量が増加すると段差が減少することが判っている。この段差の減少の度合いは、被加工物の初期膜厚、初期段差及び加工条件によって変動する。

【0014】

図 5 に示す段差解消能力は、イオン交換体を用いた電解加工にあっては、加工速度が速い程、低下する傾向にある。従って、前述のように、被加工物 W と加工電極 300 (イオン交換体 302) とを相対運動させて加工する場合、この相対速度が速くなると加工速度が低下し、この加工速度の低下に伴って、段差解消能力は高くなると考えられる。また、イオン交換体の挙動からも、被加工物 W と加工電極 300 (イオン交換体 302) とを相対速度が速い程、段差解消能力が高くなると推察される。

【0015】

これは、第 1 に、反応生成物による電気伝導度の上昇が要因と考えられる。つまり、前述の図 4 に示す場合と同様に、被加工物 W と加工電極 300 (イオン交換体 302) との間の相対速度が遅い (加工速度が遅い) 場合には、図 6 (a) に示すように、図 6 (b) に示す、被加工物 W と加工電極 300 (イオン交換体 302) との間の相対速度が速い (加工速度が遅い) 場合と比較して、加工生成物 306 の濃度が高まり、この結果、パターン凹部での反応生成物の濃度が上昇してパターン凸部と凹部の加工速度差が小さくなり、段差解消能力が低下すると考えられる。

【0016】

第 2 に、イオン交換体の見かけ弾性率の変化が要因と考えられる。つまり、前述と同様に、被加工物 W と加工電極 300 (イオン交換体 302) との間の相対速度が遅い場合には、図 7 (a) に示すように、図 7 (b) に示す、被加工物 W と加工電極 300 (イオン交換体 302) との間の相対速度が速い場合と比較して、イオン交換体 302 の見かけの弾性率が低くなり、変形が大きくなって、パターンの凹部へのイオン交換体 302 の入り込みが多くなる。これによって、パターン凹部でのイオン交換体 302 との距離がより狭まり、パターン凸部と凹部の加工速度差が小さくなって、段差解消能力が低くなると考えられる。

【0017】

被加工物の種類や加工条件などによっては、加工した面にピット (微小な穴) が形成されることが判明している。このピットは、電解加工した表面に鏡面光沢ができていても発生している程の肉眼で確認不可能な細孔であるが、真空機器や圧力機器など、高度の密閉度が要求されるシール面にピットが形成されると、所望の真空または圧力が得られず、さらに金属の腐食を進行させると考えられる。また、半導体デバイスにおいても、加工面にピットが形成されると様々な悪影響を及ぼすと考えられている。

【0018】

本発明は、上記事情に鑑みてなされたもので、例えばトレンチの内部の埋込みに使用された銅等の余剰な金属を、段差解消能力を高めつつ除去して平坦化し、しかも加工時間の短縮を図れるようにした電解加工方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0019】

請求項 1 に記載の発明は、被加工物と加工電極とを互いに近接または接触させ、液体の存在下で、被加工物と加工電極との間に電圧を印加しつつ、両者を相対運動させて加工を行う電解加工方法であって、前記被加工物と前記加工電極との間の相対速度を加工初期では速く、加工後期では遅くすることを特徴とする電解加工方法である。

【0020】

図 8 は、イオン交換体を使用した場合における本発明の加工原理を示すものである。図 8 は、被加工物 10 の表面に、加工電極 14 に取付けたイオン交換体 12 a と、給電電極 16 に取付けたイオン交換体 12 b とを接触または近接させ、加工電極 14 と給電電極 16 との間に電源 17 を介して電圧を印加しつつ、加工電極 14 及び給電電極 16 と被加工

物 10 との間に液体供給部 19 から超純水等の液体 18 を供給した状態を示している。

【0021】

超純水のような液自身の抵抗値が大きい液体を使用する場合には、イオン交換体 12a を被加工物 10 の表面に「接触させる」ことが好ましく、このようにイオン交換体 12a を被加工物 10 の表面に接触させることにより、電気抵抗を低減させることができ、印加電圧も小さくて済み、消費電力も低減できる。従って、本発明に係る加工における「接触」は、例えば CMP のように物理的なエネルギー（応力）を被加工物に与えるために、「押し付ける」ものではない。

【0022】

これにより、超純水等の液体 18 中の水分子 20 をイオン交換体 12a, 12b で水酸化物イオン 22 と水素イオン 24 に解離し、例えば生成された水酸化物イオン 22 を、被加工物 10 と加工電極 14 との間の電界と超純水等の液体 18 の流れによって、被加工物 10 の加工電極 14 と対面する表面に供給して、ここでの被加工物 10 近傍の水酸化物イオン 22 の密度を高め、被加工物 10 の原子 10a と水酸化物イオン 22 を反応させる。反応によって生成された反応物質 26 は、液体 18 中に溶解し、被加工物 10 の表面に沿った超純水等の液体 18 の流れによって被加工物 10 から除去される。これにより、被加工物 10 の表面層の除去加工が行われる。

【0023】

このように、本加工法は純粹に被加工物との電気化学的相互作用のみにより被加工物の除去加工を行うものであり、CMP のような研磨部材と被加工物との物理的な相互作用及び研磨液中の化学種との化学的相互作用の混合による加工とは加工原理が異なるものである。この方法では、被加工物 10 の加工電極 14 と対面する部位が加工されるので、加工電極 14 を移動させることで、被加工物 10 の表面を所望の表面形状に加工することができる。

【0024】

なお、本発明に係る電解加工装置は、電気化学的相互作用による溶解反応のみにより被加工物の除去加工を行うため、CMP のような研磨部材と被加工物との物理的な相互作用及び研磨液中の化学種との化学的相互作用の混合による加工とは加工原理が異なるものである。従って、材料の特性を損なわずに除去加工を行うことが可能であり、例えば前述の Low-k 材に挙げられる機械的強度の小さい材料に対しても、物理的な相互作用を及ぼすことなく除去加工が可能である。また、通常の電解加工装置と比較しても、電解液に $500\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の液体、好ましくは純水、更に好ましくは超純水を用いるため、被加工物表面への汚染も大幅に低減させることが可能であり、また加工後の廃液の処理も容易となる。

【0025】

本発明によれば、加工初期において、被加工物と加工電極との間の相対速度を速めることで段差解消能力を高め、段差が解消した加工後期において、被加工物と加工電極との間の相対速度を遅くすることで加工速度を早め、これによって、段差解消性能を高め、かつ加工時間を短縮することができる。

【0026】

請求項 2 に記載の発明は、被加工物表面の加工に付する薄膜の残膜厚が 600nm 以下に達したときに、前記被加工物と前記加工電極との間の相対速度を遅くすることを特徴とする請求項 1 に記載の電解加工方法である。

加工後期に被加工物と加工電極との間の相対速度を遅くする時期は、薄膜の残膜厚が、一般的には 600nm 以下、好ましくは 500nm 以下、更に好ましくは 400nm 以下に達した時である。

【0027】

請求項 3 に記載の発明は、被加工物と加工電極とを互いに近接または接触させ、液体の存在下で、被加工物と加工電極との間に電圧を印加しつつ、両者を相対運動させて加工を行う電解加工方法であって、前記被加工物と前記加工電極との間の相対速度を加工初期で

は速く、加工中期では遅く、加工後期では再び前記加工中期より速くすることを特徴とする電解加工方法である。

【0028】

本発明によれば、加工初期において、被加工物と加工電極との間の相対速度を速めることで段差解消能力を高め、段差が解消した加工中期において、被加工物と加工電極との間の相対速度を遅くすることで加工速度を早め、更に、加工後期において、被加工物と加工電極との間の相対速度を再び速めることで段差解消能力を高めるとともに、加工面にピット発生を防止した仕上げを行い、しかも加工速度を遅くすることで、加工終点（エンドポイント）をより正確に検知することができる。

【0029】

請求項4に記載の発明は、被加工物表面の加工に付する薄膜の残膜厚が600nm以下に達したときに、前記被加工物と前記加工電極との間の相対速度を遅くし、薄膜の残膜厚が50～300nmのときに、前記被加工物と前記加工電極との間の相対速度を再び速くすることを特徴とする請求項3記載の電解加工方法である。

加工中期に被加工物と加工電極との間の相対速度を遅くする時期は、薄膜の残膜厚が、一般的には600nm以下、好ましくは500nm以下、更に好ましくは400nm以下である。また、加工後期に被加工物と加工電極との間の相対速度を再び速くする時期は、薄膜の残膜厚が、一般的には50～300nm、好ましくは50～200nm、更に好ましくは50～150nmの時である。

【0030】

請求項5に記載の発明は、被加工物と加工電極とを互いに近接または接触させ、液体の存在下で、被加工物と加工電極との間に電圧を印加しつつ、両者を相対運動させて加工を行う電解加工方法であって、前記被加工物と前記加工電極との間の相対速度を加工初期では遅く、加工後期では速くすることを特徴とする電解加工方法である。

本発明によれば、加工初期において、被加工物と加工電極との間の相対速度を遅くすることで加工速度を速め、加工後期において、被加工物と加工電極との間の相対速度を速めることで段差解消能力を高め、これによって、段差解消性能を高め、かつ加工時間を短縮することができる。

【0031】

請求項6に記載の発明は、被加工物表面の加工に付する薄膜の残膜厚が50～300nmに達したときに、前記被加工物と前記加工電極との間の相対速度を速くすることを特徴とする請求項5記載の電解加工方法である。

加工後期に被加工物と加工電極との間の相対速度を速くする時期は、薄膜の残膜厚が、一般的には50～300nm、好ましくは50～200nm、更に好ましくは50～150nmに達した時である。

【0032】

請求項7に記載の発明は、前記被加工物と前記加工電極との間の相対速度を段階的に変化させることを特徴とする請求項1乃至6のいずれかに記載の電解加工方法である。

請求項8に記載の発明は、前記被加工物と前記加工電極との間の相対速度を連続的に変化させることを特徴とする請求項1乃至6のいずれかに記載の電解加工方法である。

このように、被加工物と加工電極との間の相対速度を、例えば直線的または曲線的に連続させて変化させるようにしてもよい。

【0033】

請求項9に記載の発明は、前記被加工物と前記加工電極との間に接触部材を配置したことを特徴とする請求項1乃至8のいずれかに記載の電解加工方法である。

請求項10に記載の発明は、前記被加工物に給電する給電電極を備え、この給電電極と被加工物との間に接触部材を配置したことを特徴とする請求項1乃至9のいずれかに記載の電解加工方法である。

【0034】

請求項11に記載の発明は、前記接触部材は、イオン交換体または研磨パッドであるこ

とを特徴とする請求項 9 または 10 記載の電解加工方法である。

このように、イオン交換体を使用することで、超純水等の液体中の水分子の水酸化イオンと水素イオンへの解離を促進して、電解加工を行うことができる。

請求項 12 に記載の発明は、前記液体は、超純水、純水または電気伝導度が $500 \mu\text{s}/\text{cm}$ 以下の液体であることを特徴とする請求項 1 乃至 11 のいずれかに記載の電解加工方法である。

【0035】

請求項 13 に記載の発明は、被加工物と加工電極とを互いに近接または接触させ、液体の存在下で、被加工物と加工電極との間に電圧を印加しつつ、被加工物及び／または加工電極が所定の周期運動を行うことにより、被加工物と加工電極との間に相対運動を起こさせ加工を行う電解加工方法であって、前記加工の途中で、前記被加工物及び／または加工電極の運動の周期を変えることを特徴とする電解加工方法である。

【発明の効果】

【0036】

本発明によれば、基板等の被加工物に物理的な欠陥を与えて被加工物の特性を損なうことを防止しつつ、電気化学的作用によって、例えば CMP に代わる電解加工等を施すことができ、これによって、CMP 処理そのものを省略したり、CMP 処理の負荷を低減したり、更には基板等の被加工物の表面に付着した付着物を除去（洗浄）することができる。しかも、純水または超純水のみを使用しても基板を加工することができ、これによって、基板の表面に電解質等の余分な不純物が付着したり、残留したりすることをなくして、除去加工後の洗浄工程を簡略化できるばかりでなく、廃液処理の負荷を極めて小さくすることができる。また、本発明によれば、加工の途中で、被加工物と加工電極との間の相対速度を速めることで段差解消能力を高め、被加工物と加工電極との間の相対速度を遅くすることで加工速度を早めることによって、段差解消性能を高め、かつ加工時間を短縮することができ、更には、被加工物の不良品化を招いていた加工面のピットの発生を防止するようにすることもできる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0037】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。なお、以下の説明では、被加工物として基板を使用し、基板の表面に形成した銅膜等の薄膜を除去加工するようにした例を示しているが、本発明を基板以外にも適用できることは勿論である。

【0038】

図 9 は、本発明の実施の形態における電解加工方法を行う電解加工装置を備えた基板処理装置の構成を示す平面図である。図 9 に示すように、この基板処理装置は、例えば、図 1 (b) に示す、表面に導電体膜（薄膜）としての銅膜 6 及びバリア層 5 を有する基板 W を収納したカセットを搬出入する搬出入部としての一对のロード・アンロード部 30 と、基板の 1 次洗浄を行う第 1 洗浄機 31 a と、基板の 2 次洗浄（仕上げ洗浄）を行う第 2 洗浄機 31 b と、基板 W を反転させる反転機 32 と、電解加工装置 34 とを備えている。これらの機器は、直列に配置されており、これらの機器の間で基板 W を搬送して授受する搬送装置としての搬送ロボット 36 がこれらの機器と平行に走行自在に配置されている。また、電解加工装置 34 による電解加工の際に、下記のように、渦電流センサ 200 からの出力に基づいて電極部 46 の回転速度を制御する制御部 38 がロード・アンロード部 30 に隣接して配置されている。

【0039】

図 10 は、基板処理装置内の電解加工装置 34 を示す平面図、図 11 は、図 10 の縦断面図である。図 10 及び図 11 に示すように、電解加工装置 34 は、上下動可能かつ水平面に沿って往復動可能なアーム 40 と、アーム 40 の自由端に垂設されて基板 W を下向き（フェースダウン）に吸着保持する基板保持部 42 と、アーム 40 が取付けられる可動フレーム 44 と、矩形状の電極部 46 と、電極部 46 に接続される電源 48 とを備えている。この実施の形態では、電極部 46 の大きさは基板保持部 42 で保持する基板 W の外径よ

りも一回り大きな大きさに設定されている。

【0040】

図10及び図11に示すように、可動フレーム44の上部には上下動用モータ50が設置されており、この上下動用モータ50には上下方向に延びるボールねじ52が連結されている。ボールねじ52にはアーム40の基部40aが取付けられており、上下動用モータ50の駆動に伴ってアーム40がボールねじ52を介して上下動するようになっている。また、可動フレーム44自体も、水平方向に延びるボールねじ54に取付けられており、往復動用モータ56の駆動に伴って可動フレーム44及びアーム40が水平面に沿って往復動するようになっている。

【0041】

基板保持部42は、アーム40の自由端に設置された自転用モータ58に接続されており、この自転用モータ58の駆動に伴って回転（自転）するようになっている。また、上述したように、アーム40は上下動及び水平方向に往復動可能となっており、基板保持部42はアーム40と一体となって上下動及び水平方向に往復動可能となっている。

【0042】

電極部46の下方には中空モータ60が設置されており、この中空モータ60の主軸62には、この主軸62の中心から偏心した位置に駆動端64が設けられている。電極部46は、その中央において上記駆動端64に軸受（図示せず）を介して回転自在に連結されている。また、電極部46と中空モータ60との間には、周方向に3つ以上の自転防止機構が設けられている。

【0043】

電極部46の内部には、基板Wの表面に堆積した銅膜6（図1参照）等の導電性膜の内部に渦電流を発生させ、しかも、この時に発生した渦電流の大きさを検出する渦電流センサ200が埋め込まれ、この渦電流センサ200で検出した信号は、膜厚検出部としての信号処理装置202に入力され、この信号処理装置202で処理された信号は、制御部38に入力されるようになっている。

【0044】

この渦電流センサ200は、センサコイルを有し、このセンサコイルに高周波電流を流すことで、基板Wの表面に堆積した銅膜6等の導電性膜の内部に渦電流を発生させるようになっており、この時に発生する渦電流は、銅膜6等の導電性膜の膜厚によって変化する。

【0045】

そこで、この例では、この基板Wの表面に堆積した銅膜6等の導電性膜の内部に発生する渦電流の大きさを渦電流センサ200で検出し、この渦電流センサ200で検出した信号を信号処理装置202に送り、この信号処理装置202で、例えば、この渦電流の変化の大きさが所定値以上に達したことを検知した時に、基板Wの表面に堆積した銅膜6等の導電性膜の膜厚（残膜厚）が所定の値に達したと判断して、所定の加工の終点を検出するようになっている。信号処理装置202は、所定の加工の終点を検出すると制御部38に所定の信号を送る。

【0046】

図12(a)は、この実施の形態における自転防止機構を示す平面図、図12(b)は、図12(a)のA-A線断面図である。図12(a)及び図12(b)に示すように、電極部46と中空モータ60との間には、周方向に3つ以上（図12(a)においては4つ）の自転防止機構66が設けられている。図12(b)に示すように、中空モータ60の上面と電極部46の下面の対応する位置には、周方向に等間隔に複数の凹所68、70が形成されており、これらの凹所68、70にはそれぞれ軸受72、74が装着されている。軸受72、74には、距離“e”だけずれた2つの軸体76、78の一端部がそれぞれ挿入されており、軸体76、78の他端部は連結部材80により互いに連結される。ここで、中空モータ60の主軸62の中心に対する駆動端64の偏心量も上述した距離“e”と同じになっている。従って、電極部46は、中空モータ60の駆動に伴って、主軸6

2の中心と駆動端64との間の距離“e”を半径とした、自転を行わない公転運動、いわゆるスクロール運動（並進回転運動）を行うようになっている。

【0047】

次に、この実施の形態における電極部46について説明する。この実施の形態における電極部46は、複数の電極部材82を備えている。図13は、この実施の形態における電極部46を示す平面図、図14は、図13のB-B線断面図、図15は、図14の部分拡大図である。図13及び図14に示すように、電極部46は、X方向（図10及び図13参照）に延びる複数の電極部材82を備えており、これらの電極部材82は、平板状のベース84上に並列に配置されている。

【0048】

図15に示すように、各電極部材82は、電源48（図10及び図11参照）に接続される電極86と、電極86の上部に積層されたイオン交換体88と、電極86及びイオン交換体88の表面を一体的に覆うイオン交換体（イオン交換膜）90とを備えている。イオン交換体90は、電極86の両側に配置された保持プレート85により電極86に取付けられている。このイオン交換体88、90は、接触部材としての役割を果たすものである。

【0049】

ここで、イオン交換体88、90には、以下の4点が求められる。

(1) 加工生成物（ガス含む）の除去

これは、加工レートの安定性、加工レート分布の均一性に影響するためである。このため、「通水性」及び「吸水性」のあるイオン交換体を用いることが好ましい。ここで「通水性」とは、マクロな透過性を意味する。すなわち、素材自体に通水性がなくても、該部材に穴及び溝を切ることによって水が通過できるようになり、通水性を持たせることができる。一方、「吸水性」とは、素材に水がしみ込む性質を意味する。

【0050】

(2) 加工レートの安定性

加工レートの安定性を図るためには、イオン交換材料を多数枚重ねて、イオン交換能力を確保することが好ましいと考えられる。

(3) 被加工面の平坦性（段差解消能力）

被加工面の平坦性を確保するためには、イオン交換体の加工面の表面平滑性が良好であることが好ましいと考えられている。更に、硬い部材ほど加工表面の平坦性（段差解消能力）が高いのではないかと考えられている。

(4) 長寿命

機械的寿命に関しては、耐磨耗性の高いイオン交換材料が好ましいと考えられている。

【0051】

ここで、イオン交換体88としては、イオン交換容量の高いイオン交換体を用いることが好ましい。この実施の形態では、厚さが1mmの不織布イオン交換体を3枚重ねた多層構造としており、イオン交換体88の持つトータルのイオン交換容量を増加させている。このように構成することで、電解反応により発生した加工生成物（酸化物やイオン）をイオン交換体88内にこの蓄積容量以上に蓄積させないようにして、イオン交換体88内に蓄積された加工生成物の形態が変化して、それが加工速度及びその分布に影響を与えることを防止することができる。また、目標とする被加工物の加工量を十分補えるだけのイオン交換容量を確保することができる。なお、イオン交換体88のイオン交換容量が高ければ1枚としてもよい。

【0052】

また、少なくとも被加工物と対面するイオン交換体90は、硬度が高く、しかも良好な表面平滑性を有することが好ましい。この実施の形態では、厚さ0.2mmのナフィオン（デュポン社の商標）を使用している。ここで、「硬度が高い」とは、剛性が高く、かつ圧縮弾性率が低いことを意味する。硬度が高い材質を用いることにより、パターンウェハ等の、被加工物表面の微細な凹凸に加工部材が倣いにくくなるため、パターンの凸部のみ

を選択的に除去しやすい。また、「表面平滑性を有する」とは、表面の凹凸が小さいことを意味する。すなわち、イオン交換体が、被加工物であるパターンウェハ等の凹部に接触しにくくなるため、パターンの凸部のみを選択的に除去しやすくなる。このように、表面平滑性を有するイオン交換体90とイオン交換容量の大きなイオン交換体88とを組み合わせることにより、イオン交換容量が少ないというイオン交換体90の短所をイオン交換体88により補うことができる。

【0053】

また、イオン交換体90としては通水性に優れたものを使用することがより好ましい。純水または超純水がイオン交換体90を通過するように流すことで、水の解離反応を促進させる官能基（強酸性陽イオン交換材料ではスルホン酸基）に十分な水を供給して水分子の解離量を増加させ、水酸化物イオン（もしくはOHラジカル）との反応により発生した加工生成物（ガスも含む）を水の流れにより除去して、加工効率を高めることができる。従って、純水または超純水の流れが必要となり、純水または超純水の流れとしては、一様かつ均一であることが好ましい。このように、一様かつ均一な流れとすることで、イオンの供給及び加工生成物の除去の一様性及び均一性、ひいては加工効率の一様性及び均一性を図ることができる。

【0054】

このようなイオン交換体88, 90は、例えば、アニオン交換基またはカチオン交換基を付与した不織布で構成されている。カチオン交換体は、好ましくは強酸性カチオン交換基（スルホン酸基）を担持したものであるが、弱酸性カチオン交換基（カルボキシル基）を担持したものでよい。また、アニオン交換体は、好ましくは強塩基性アニオン交換基（4級アンモニウム基）を担持したものであるが、弱塩基性アニオン交換基（3級以下のアミノ基）を担持したものでよい。

【0055】

ここで、例えば強塩基性アニオン交換基を付与した不織布は、繊維径20~50 μ mで空隙率が約90%のポリオレフィン製の不織布に、 γ 線を照射した後グラフト重合を行ういわゆる放射線グラフト重合法により、グラフト鎖を導入し、次に導入したグラフト鎖をアミノ化して4級アンモニウム基を導入して作製される。導入されるイオン交換基の容量は、導入するグラフト鎖の量により決定される。グラフト重合を行うためには、例えばアクリル酸、スチレン、メタクリル酸グリシジル、更にはスチレンスルホン酸ナトリウム、クロロメチルスチレン等のモノマーを用い、これらのモノマー濃度、反応温度及び反応時間を制御することで、重合するグラフト量を制御することができる。従って、グラフト重合前の素材の重量に対し、グラフト重合後の重量の比をグラフト率と呼ぶが、このグラフト率は、最大で500%が可能であり、グラフト重合後に導入されるイオン交換基は、最大で5 meq/gが可能である。

【0056】

強酸性カチオン交換基を付与した不織布は、前記強塩基性アニオン交換基を付与する方法と同様に、繊維径20~50 μ mで空隙率が約90%のポリオレフィン製の不織布に、 γ 線を照射した後グラフト重合を行ういわゆる放射線グラフト重合法により、グラフト鎖を導入し、次に導入したグラフト鎖を、例えば加熱した硫酸で処理してスルホン酸基を導入して作製される。また、加熱したリン酸で処理すればリン酸基が導入できる。ここでグラフト率は、最大で500%が可能であり、グラフト重合後に導入されるイオン交換基は、最大で5 meq/gが可能である。

【0057】

イオン交換体88, 90の素材の材質としては、ポリエチレン、ポリプロピレン等のポリオレフィン系高分子、またはその他有機高分子が挙げられる。また素材形態としては、不織布の他に、織布、シート、多孔質材、短繊維等が挙げられる。

【0058】

ここで、ポリエチレンやポリプロピレンは、放射線（ γ 線と電子線）を先に素材に照射する（前照射）ことで、素材にラジカルを発生させ、次にモノマーと反応させてグラフト

重合することができる。これにより、均一性が高く、不純物が少ないグラフト鎖ができる。一方、その他の有機高分子は、モノマーを含浸させ、そこに放射線（ γ 線、電子線、紫外線）を照射（同時照射）することで、ラジカル重合することができる。この場合、均一性に欠けるが、ほとんどの素材に適用できる。

【0059】

このように、イオン交換体 88, 90 をアニオン交換基またはカチオン交換基を付与した不織布で構成することで、純水または超純水や電解液等の液体が不織布の内部を自由に移動して、不織布内部の水分解触媒作用を有する活性点に容易に到達することが可能となつて、多くの水分子が水素イオンと水酸化物イオンに解離される。更に、解離によって生成した水酸化物イオンが純水または超純水や電解液等の液体の移動に伴って効率良く加工電極の表面に運ばれるため、低い印加電圧でも高電流が得られる。

【0060】

ここで、イオン交換体 88, 90 をアニオン交換基またはカチオン交換基の一方を付与したもののみで構成すると、電解加工できる被加工材料が制限されるばかりでなく、極性により不純物が生成しやすくなる。そこで、アニオン交換基を有するアニオン交換体とカチオン交換基を有するカチオン交換体とを重ね合わせたり、イオン交換体 88, 90 自体にアニオン交換基とカチオン交換基の双方の交換基を付与するようにしたりしてもよく、これにより、被加工材料の範囲を広げるとともに、不純物を生成しにくくすることができる。

【0061】

ここで、本発明は、イオン交換体を用いた電解加工に限られるものではない。例えば、加工液として電解液を用いた場合は、電極の表面に取付けられる加工部材（接触部材）としては、純水や超純水に最適なイオン交換体 88, 90 に代えて、柔らかい研磨パッドや不織布のようなものであってもよい。

【0062】

この実施の形態では、隣り合う電極部材 82 の電極 86 に、電源 48 の陰極と陽極とが交互に接続されている。例えば、電極 86 a（図 14 参照）を電源 48 の陰極に接続し、電極 86 b（図 14 参照）を陽極に接続する。例えば、銅を加工する場合においては、陰極側に電解加工作用が生じるので、陰極に接続した電極 86 a が加工電極となり、陽極に接続した電極 86 b が給電電極となる。このように、この実施の形態では、加工電極と給電電極とが並列に交互に配置される。

【0063】

加工材料によっては、電源 48 の陰極に接続される電極を給電電極とし、陽極に接続される電極を加工電極としてもよい。すなわち、被加工材料が例えば銅やモリブデン、鉄である場合には、陰極側に電解加工作用が生じるため、電源 48 の陰極に接続した電極 86 a が加工電極となり、陽極に接続した電極 86 b が給電電極となる。一方、被加工材料が例えばアルミニウムやシリコンである場合には、陽極側で電解加工作用が生じるため、電源 48 の陽極に接続した電極 86 b が加工電極となり、陰極に接続した電極 86 a が給電電極となる。

【0064】

また、被加工物が錫酸化物やインジウム錫酸化物（ITO）などの導電性酸化物の場合には、被加工物を還元した後、電解加工を行う。すなわち、図 11 において、電源 48 の陽極に接続した電極が還元電極となり、陰極に接続した電極が給電電極となつて、導電性酸化物の還元を行う。続いて、先程給電電極であった電極を加工電極として、還元された導電性酸化物の加工を行う。あるいは、導電性酸化物の還元時の極性を反転させることによって還元電極を加工電極にしてもよい。また、被加工物を陰極にして、陽極電極を対向させることによっても導電性酸化物の除去加工ができる。

【0065】

なお、上記の例では、基板の表面に形成した導電体膜としての銅膜 6 を電解加工するようにした例を示しているが、基板の表面に成膜乃至付着した不要なルテニウム（Ru）膜

も同様にして、すなわちルテニウム膜を陽極となし、陰極に接続した電極を加工電極として、電解加工（エッチング除去）することができる。

【0066】

このように、加工電極と給電電極とを電極部46のY方向（電極部材82の長手方向と垂直な方向）に交互に設けることで、基板Wの導電体膜（被加工物）に給電を行う給電部を設ける必要がなくなり、基板の全面の加工が可能となる。また、電極86間に印加される電圧の正負をパルス状に変化させることで、電解生成物を溶解させ、加工の繰返しの多重性によって平坦度を向上させることができる。

【0067】

ここで、電極部材82の電極86は、電解反応により、酸化または溶出が一般に問題となる。このため、電極の素材として、電極に広く使用されている金属や金属化合物よりも、炭素、比較的の不活性な貴金属、導電性酸化物または導電性セラミックスを使用することが好ましい。この貴金属を素材とした電極としては、例えば、下地の電極素材にチタンを用い、その表面にめっきやコーティングで白金またはイリジウムを付着させ、高温で焼結して安定化と強度を保つ処理を行ったものが挙げられる。セラミックス製品は、一般に無機物質を原料として熱処理によって得られ、各種の非金属・金属の酸化物・炭化物・窒化物などを原料として、様々な特性を持つ製品が作られている。この中に導電性を持つセラミックスもある。電極が酸化すると電極の電気抵抗値が増加し、印加電圧の上昇を招くが、このように、白金などの酸化しにくい材料やイリジウムなどの導電性酸化物で電極表面を保護することで、電極素材の酸化による導電性の低下を防止することができる。

【0068】

図14に示すように、電極部46のベース84の内部には、被加工面に純水、より好ましくは超純水を供給するための流路92が形成されており、この流路92は純水供給管94を介して純水供給源（図示せず）に接続されている。各電極部材82の両側には、流路92から供給される純水または超純水を基板Wと電極部材82のイオン交換体90との間に噴射するための純水噴射ノズル96が設置されている。この純水噴射ノズル96には、電極部材82に対向する基板Wの被加工面、すなわち基板Wとイオン交換体90との接触部分に向けて純水または超純水を噴射する噴射口98がX方向に沿って複数箇所（図13参照）に設けられている。この純水噴射ノズル96の噴射口98から流路92内の純水または超純水が基板Wの被加工面全域に供給される。ここで、図15に示すように、純水噴射ノズル96の高さは、電極部材82のイオン交換体90の高さよりも低くなっており、基板Wを電極部材82のイオン交換体90に接触させた際にも、純水噴射ノズル96が基板Wに接触しないようになっている。

【0069】

また、各電極部材82の電極86の内部には、流路92からイオン交換体88に通じる貫通孔100が形成されている。このような構成により、流路92内の純水または超純水は、貫通孔100を通してイオン交換体88に供給される。ここで、純水は、例えば電気伝導度（1 atm、25℃換算、以下同じ）が $10\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の水であり、超純水は、例えば電気伝導度が $0.1\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の水である。このように電解質を含まない純水または超純水を使用して電解加工を行うことで、基板Wの表面に電解質等の余分な不純物が付着したり、残留したりすることをなくすることができる。更に、電解によって溶解した銅イオン等が、イオン交換体88、90にイオン交換反応で即座に捕捉されるため、溶解した銅イオン等が基板Wの他の部分に再度析出したり、酸化されて微粒子となり基板Wの表面を汚染したりすることがない。

【0070】

また、純水または超純水の代わりに電気伝導度 $500\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の液体や、任意の電解液、例えば純水または超純水に電解質を添加した電解液を使用してもよい。電解液を使用することで、電気抵抗を低減して消費電力を削減することができる。この電解液としては、例えば、 NaCl や Na_2SO_4 等の中性塩、 HCl や H_2SO_4 等の酸、更には、アンモニア等のアルカリなどの溶液を使用することができ、被加工物の特性によって適

宜選択して使用することができる。

【0071】

更に、純水または超純水の代わりに、純水または超純水に界面活性剤等を添加して、電気伝導度が $500\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下、好ましくは、 $50\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下、更に好ましくは、 $0.1\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下（比抵抗で $10\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$ 以上）にした液体を使用してもよい。このように、純水または超純水に界面活性剤を添加することで、基板Wとイオン交換体88、90の界面にイオンの移動を防ぐ様な抑制作用を有する層を形成し、これによって、イオン交換（金属の溶解）の集中を緩和して被加工面の平坦性を向上させることができる。ここで、界面活性剤濃度は、 100ppm 以下が好ましい。なお、電気伝導度の値があまり高いと電流効率が下がり、加工速度が遅くなるが、 $500\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下、好ましくは、 $50\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下、更に好ましくは、 $0.1\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の電気伝導度を有する液体を使用することで、所望の加工速度を得ることができる。

【0072】

次に、この基板処理装置を用いた基板処理（電解加工）について説明する。まず、例えば、図1（b）に示すように、表面に導電体膜（被加工部）として銅膜6を形成した基板Wを収納したカセットをロード・アンロード部30にセットし、このカセットから1枚の基板Wを搬送ロボット36で取り出す。搬送ロボット36は、取り出した基板Wを必要に応じて反転機32に搬送し、基板Wの導電体膜（銅膜6）を形成した表面が下を向くように反転させる。

【0073】

搬送ロボット36は、反転させた基板Wを受け取り、これを電解加工装置34に搬送し、基板保持部42により吸着保持させる。アーム40を移動させて基板Wを保持した基板保持部42を電極部46の直上方の加工位置まで移動させる。次に、上下動用モータ50を駆動して基板保持部42を下降させ、この基板保持部42で保持した基板Wを電極部46のイオン交換体90の表面に接触または近接させる。この状態で、自転用モータ58を駆動して基板Wを回転させ、同時に中空モータ60を駆動して電極部46をスクロール運動のとき、純水噴射ノズル96の噴射口98から基板Wと電極部材82との間に純水または超純水を噴射し、また、各電極部46の貫通孔100を通じて純水または超純水をイオン交換体88に含ませる。この実施の形態では、イオン交換体88に供給された純水または超純水は各電極部材82の長手方向端部から排出される。

【0074】

そして、電源48により加工電極と給電電極との間に所定の電圧を印加し、イオン交換体88、90により生成された水素イオンまたは水酸化物イオンによって、加工電極（陰極）において基板Wの表面の導電体膜（銅膜6）の電解加工を行う。この実施の形態では、基板保持部42を回転させ、同時に電極部46をスクロール運動させることで、基板Wと電極86とを相対移動させて加工を行うようにしている。電解加工中に往復動用モータ56を駆動させてアーム40及び基板保持部42をY方向に移動させるようにしてもよい。

【0075】

ここで、図16に示すように、電解加工の初期（ $\sim t_1$ ）においては、例えば電極部46のスクロール運動速度を速くして、基板保持部42で保持した基板Wと各電極86との間の相対速度が速くなるようにする。つまり、例えば、この相対速度が、 $0.4\text{m}/\text{sec}$ 以上、好ましくは $0.5\text{m}/\text{sec}$ 以上、更に好ましくは $0.6\text{m}/\text{sec}$ 以上となるようにする。このように、基板保持部42で保持した基板Wと各電極86との間の相対速度が速くなるようにすることで、前述のように、加工速度を遅くし、基板Wの表面に形成した薄膜、例えば図1に示す銅膜6を除去し平坦化する時の段差解消能力を向上させる。

【0076】

そして、この銅膜6の残膜厚が所定の値、例えば 600nm 以下、好ましくは 500nm 以下、更に好ましくは 400nm 以下に達したことを渦電流センサ200で検知した時

、この信号を信号処理装置202に送り、信号処理装置202と制御部38を介して、例えば電極部46のスクロール運動速度を落とし、これによって、図16に示すように、加工後期(t_1 ～)において、基板保持部42で保持した基板Wと各電極86との間の相対速度が遅くなるようにする。このように、基板Wと各電極86との間の相対速度を落とすことで、前述のように、加工速度を速める。一般に、被加工面の初期段差は300～500nmであるが、加工速度上昇のための相対速度の切替は、初期段差が完全に解消する前、初期段差分の膜厚を除去加工するより前に、行う。

【0077】

このように、加工初期(～ t_1)においては、基板Wと電極86との間の相対速度を速めることで段差解消能力を高め、段差が解消した加工後期(t_1 ～)においては、基板Wと電極86との間の相対速度を遅くすることで加工速度を早めることで、段差解消性能を高め、かつ加工時間を短縮することができる。

【0078】

電解加工完了後、電源48の電極86との接続を切り、基板保持部42と電極部46の回転を停止させ、しかる後、基板保持部42を上昇させ、アーム40を移動させて基板Wを搬送ロボット36に受け渡す。基板Wを受け取った搬送ロボット36は、必要に応じて反転機32に搬送して反転させ、第1洗浄機31aに搬送して基板の1次洗浄を、第2洗浄機31bに搬送して基板の2次洗浄(仕上げ洗浄)を、順次行って乾燥させ、乾燥後の基板Wをロード・アンロード部30のカセットに戻す。

【0079】

ここで、超純水のような液自身の抵抗値が大きい液体を使用する場合には、イオン交換体90を基板Wに接触させることにより、電気抵抗を低減させることができ、印加電圧も小さくて済み、消費電力も低減できる。この「接触」は、例えばCMPのように物理的なエネルギー(応力)を被加工物に与えるために、「押し付ける」ことを意味するものではない。従って、この実施の形態における本電解加工装置では、基板Wの電極部46への接触または近接には上下動用モータ50を用いており、例えばCMP装置において基板と研磨部材を積極的に押し付ける押圧機構は具備していない。すなわち、CMPにおいては、一般に20～50kPa程度の押圧力で基板を研磨面に押し付けているが、この実施の形態の電解加工装置では、例えば、20kPa以下の圧力でイオン交換体90を基板Wに接触させればよく、10kPa以下の圧力でも十分除去加工効果が得られる。

【0080】

なお、上記の例では、電解加工に際し、基板Wと電極86との間の相対速度を、加工初期では速く、加工後期では遅くした例を示しているが、図17に示すように、基板Wと電極86との間の相対速度を、加工初期(～ t_2)では速く、加工中期(t_2 ～ t_3)では遅く、加工後期(t_3 ～)では再び速くするようにしてもよい。

【0081】

つまり、電解加工の初期(～ t_2)においては、例えば電極部46のスクロール運動速度を速くして、基板保持部42で保持した基板Wと各電極86との間の相対速度が速くなるようにして、加工速度を遅くし、基板Wの表面に形成した薄膜、例えば図1に示す銅膜6を除去し平坦化する時の段差解消能力を向上させる。

【0082】

そして、この銅膜6の残膜厚が所定の値、例えば600nm以下、好ましくは500nm以下、更に好ましくは400nmに達したことを渦電流センサ200で検知した後の加工中期(t_2 ～ t_3)においては、例えば電極部46のスクロール運動速度を落とし、基板保持部42で保持した基板Wと各電極86との間の相対速度が遅くなるようにして、加工速度を速める。ここで相対速度を遅くするとは、その直前の相対速度より遅くすることである。具体的には、0.4m/sec以下、好ましくは0.3m/sec以下、更に好ましくは0.2m/sec以下となるようにする。

【0083】

更に、この銅膜6の残膜厚が、例えば50～300nm、好ましくは50～200nm

、更に好ましくは50～150 nmであることを渦電流センサ200で検知した後の加工後期($t_3 \sim$)においては、例えば電極部46のスクロール運動速度を再度速め、基板保持部42で保持した基板Wと各電極86との間の相対速度が速くなるようにして、段差解消能力を高め、しかも加工面にピットの発生を防止した仕上げ加工を行う。

【0084】

このように、加工後期($t_3 \sim$)において、基板Wと各電極86との間の相対速度が速くなるようにすることで、段差解消能力を更に高めるとともに、加工面にピットの発生を防止することができる。つまり、この例のように、電極部46をスクロール運動させ、基板保持部42で保持した基板Wも回転させつつ相対運動させて電解加工を行うようにした場合、電極86と基板Wとを、0.4 m/sec以上、好ましくは0.5 m/sec以上、更に好ましくは0.6 m/sec以上の相対速度で相対運動させながら加工を行うことで、基板Wの導電体膜、例えば図1に示す銅膜6等の被加工面に、加工後にピットが発生することを防止することができる。しかも、このように、加工後期で加工速度を落とすことで、加工終点(エンドポイント)をより正確に検知することができる。

【0085】

なお、加工前期と加工後期における基板Wと各電極86との間の相対速度とを一致させる必要はなく、その目的に応じて、例えば加工後期における基板Wと各電極86との間の相対速度を加工前期における相対速度より速くするようにしてもよい。

【0086】

また、図18に示すように、基板Wと電極86との間の相対速度を、加工初期($\sim t_4$)では遅く、加工中期($t_4 \sim t_5$)では速くし、更に、必要に応じて、加工中期($t_4 \sim t_5$)よりも、加工後期($t_5 \sim$)の方が、更に速くなるようにしてもよい。

【0087】

つまり、電解加工の初期($\sim t_4$)においては、例えば電極部46のスクロール運動速度を遅くし、基板保持部42で保持した基板Wと各電極86との間の相対速度が遅くなるようにして、加工速度を速める。そして、基板Wの表面に形成した薄膜、例えば図1に示す銅膜6の残膜厚が所定の値、例えば500 nm以下、好ましくは400 nm以下、更に好ましくは300 nm以下に達したことを渦電流センサ200で検知した後の加工中期($t_4 \sim t_5$)においては、例えば電極部46のスクロール運動速度を速め、基板保持部42で保持した基板Wと各電極86との間の相対速度が速くなるようにして、例えば銅膜6を除去し平坦化する時の段差解消能力を向上させる。これによっても、段差解消性能を高め、かつ加工時間を短縮することができる。

【0088】

更に、このように、加工中期で基板Wと各電極86との間の相対速度が速くなるようにすることで、被加工面にピットが発生することを防止し、しかも加工中期($t_4 \sim t_5$)よりも、加工後期($t_5 \sim$)の方が、更に速くなるようにすることで、段差解消能力と被加工面にピットが発生するのを防止する効果をより高めることができる。

【0089】

更に、図19に示すように、基板Wと電極86との間の相対速度を、残膜厚600 nm以下、好ましくは500 nm以下、更に好ましくは400 nm以下までの加工初期($\sim t_7$)では速く、残膜厚50～300 nm、好ましくは50～200 nm、更に好ましくは50～150 nmとなるまでの加工中期($t_7 \sim t_8$)では遅く、加工後期($t_8 \sim$)では再び速くするようにして電解加工を行うに際し、加工初期($\sim t_7$)において、その初稼ぎ、加工後期($t_8 \sim$)において、その後期($t_9 \sim$)の方が初期($t_8 \sim t_9$)よりも相対運動が速くなるようにして、段差解消能力と被加工面にピットが発生するのを防止する効果をより高めるようにしてもよい。

【0090】

前述の各例においては、基板Wと電極86との間の相対速度を段階的に変化させるよう

にした例を示しているが、図20に示すように、例えば、基板Wと電極86との間の相対速度を、加工初期($\sim t_{10}$)では速く、加工中期($t_{10} \sim t_{11}$)では遅く、加工後期($t_{11} \sim$)では再び速くするようにして電解加工を行うに際し、加工初期($\sim t_{10}$)においては、基板Wと電極86との間の相対速度を直線的に減少させ、加工後期($t_{11} \sim$)においては、基板Wと電極86との間の相対速度を直線的に増加させるようにしてもよい。この時、加工初期($\sim t_{10}$)における、相対速度減少直線の傾きと、加工後期($t_{11} \sim$)における、相対速度増加直線の傾きは、任意に設定される。

【0091】

なお、この例では、基板Wと電極86との間の相対速度を直線的に減少または増加させるようにした例を示しているが、基板Wと電極86との間の相対速度を曲線的に任意に減少または増加させるようにしてもよい。

【0092】

また、上記の例では、渦電流センサ200によって、加工中における、例えば図1に示す銅膜6の残膜厚を測定して、相対速度の切替えを行うタイミングを検知するようにしているが、(1) 予め測定した初期膜厚と加工速度より計算した加工時間により、(2) 印加電流または印加電圧値の一方を固定し、他方の変化を測定することにより、(3) 電極部46を回転させる中空モータ60のトルク値を測定するか、またはその時間当たりの変化量を測定することにより、または(4) 光学的手段により膜厚を検知することにより、相対速度の切替えを行うタイミングを検知するようにしてもよい。また加工量対段差の関係を予め測定することなく、加工終了後の段差が最適となるよう、試行錯誤等で速度切替えの為の加工量/残膜厚を決定するようにしてもよい。また、各種膜厚を *in-situ* で測定し、相対速度だけではなく、印加電圧や接触圧を変え、またこれら複数の加工因子を組合わせて変えて加工してもよい。

【0093】

図21は、本発明の電解加工方法を行うのに適した他の電解加工装置の要部を示す縦断面図で、図22は、図21の要部を拡大して示す要部拡大図である。図21に示すように、この電解加工装置600は、表面を下向きにして基板Wを吸着する基板保持部602と、矩形状の電極部604とを上下に備えている。この基板保持部602は、前述の例と同様に、上下動、左右動及び回転自在に構成されている。電極部604は、中空スクロールモータ606を備えており、この中空スクロールモータ606の駆動により、自転を行わない円運動、いわゆるスクロール運動(並進回転運動)を行うようになっている。

【0094】

電極部604は、直線状に延びる複数の電極部材608と、上方に開口する容器610とを備えており、複数の電極部材608は容器610内に並列に等ピッチで配置されている。更に、この容器610の上方に位置して、該容器610の内部に超純水や純水等の液体を供給する液体供給ノズル612が配置されている。各電極部材608は、装置内の電源に接続される電極614を備えており、この各電極614に電源の陰極と陽極とが交互に、つまり、電極614aに電源の陰極が、電極614bに陽極が交互に接続されている。これによって、前述と同様に、例えば、銅を加工する場合においては、陰極側に電解加工作用が生じるので、陰極に接続した電極614aが加工電極となり、陽極に接続した電極614bが給電電極となるようになっている。

【0095】

そして、この陰極に接続した加工電極614aにあつては、図21に詳細に示すように、この上部に、例えば不織布からなるイオン交換体616aが取付けられ、この加工電極614a及びイオン交換体616aは、液体の通過を遮断しイオンのみを通過可能に構成されたイオン交換膜からなる第2のイオン交換体618aで一体に覆われている。陽極に接続した給電電極614bにあつてもほぼ同様に、この上部に、例えば不織布からなるイオン交換体616bが取付けられ、この加工電極614a及びイオン交換体616bは、液体の通過を遮断しイオンのみを通過可能に構成されたイオン交換膜からなる第2のイオン交換体618bで一体に覆われている。

【0096】

これにより、不織布からなるイオン交換体616a、616bにあつては、電極614の長さ方向に沿った所定の位置に設けられた貫通孔（図示せず）を通過した超純水や液体が、この内部を自由に移動して、不織布内部の水分解触媒作用を有する活性点に容易に到達することができるが、この液体は、イオン交換膜からなるイオン交換体618a、618bで流れを遮断されて、このイオン交換体618a、618bが、下記の第2の隔壁を構成するようになっている。

【0097】

電源の陰極に接続された加工電極614aの両側には、一对の液体供給ノズル620が配置され、この液体供給ノズル620の内部には、長さ方向に沿って延びる流体流通路620aが設けられ、更に、長さ方向に沿った所定の位置に、上面に開口し流体流通路620aに連通する液体供給孔620cが設けられている。

【0098】

そして、加工電極614aと一对の液体供給ノズル620は、一对のタッパバー622を介して一体化され、一对のインサートプレート624に挟持されて電極ベース626に固定されている。一方、給電電極614bは、その表面をイオン交換体618bで覆った状態で、一对の保持プレート628で挟持されて電極ベース626に固定されている。

【0099】

なお、イオン交換体616a、616bは、例えば、アニオン交換基またはカチオン交換基を付与した不織布で構成されているが、アニオン交換基を有するアニオン交換体とカチオン交換基を有するカチオン交換体とを重ね合わせたり、イオン交換体616a、616b自体にアニオン交換基とカチオン交換基の双方の交換基を付与するようしたりしてもよく、また、素材の材質としては、ポリエチレン、ポリプロピレン等のポリオレフィン系高分子、またはその他有機高分子が挙げられることは前述と同様である。また、電極部材608の電極614の素材として、電極に広く使用されている金属や金属化合物よりも、炭素、比較的不活性な貴金属、導電性酸化物または導電性セラミックスを使用することが好ましいことは前述と同様である。

【0100】

そして、各液体供給ノズル620の上面には、例えば弾性を有する樹脂等からなる隔壁630がその長さ方向の全長にわたって取付けられている。この隔壁630の肉厚は、基板保持部602で保持した基板Wを、電極部材608のイオン交換体618a、618bに接触乃至近接させて、この基板Wに電解加工を施す際に、この隔壁630の上面が基板保持部602で保持された基板Wに圧接する厚さに設定されている。

【0101】

これによって、電解加工を行う際に、電極部604と基板保持部602との間に、隔壁630で隔離された、加工電極614aと基板Wとの間に形成される流路632と、給電電極614bと基板との間に形成される流路634が並列に形成され、しかも、加工電極614aと基板Wとの間に形成される流路632は、イオン交換膜で構成された第2の隔壁としてのイオン交換体618aで2つの流路632a、632bに隔離され、給電電極614bと基板Wとの間に形成される流路634は、イオン交換膜で構成された第2の隔壁としてのイオン交換体618bで2つの流路634a、634bに隔離されるようになっている。

【0102】

この例では、容器610の内部は液体供給ノズル612から供給された超純水や純水等の液体で満たされ、一方、電極614に設けた貫通孔（図示せず）から加工電極614a及び給電電極614bの上部に配置された不織布からなるイオン交換体616a、616bに超純水や純水等の液体が供給された状態で電解加工が行われる。容器610の外側には、この容器610の外周壁610aをオーバフローした液体を排出するオーバフロー路636が設けられており、外周壁610aをオーバフローした液体は、オーバフロー路636を介して排液タンク（図示せず）に入るようになっている。

【0103】

なお、加工電極の両側に、長手方向に沿った所定位置に液体供給孔を設けた液体供給ノズルを使用し、液体供給ノズルによる液体の供給を行うことで、加工電極 614a と基板 W との間に形成される流路 632 に沿って流れる流体と、給電電極 614b と基板との間に形成される流路 634 に沿って流れる流体の流れをより確実に制御して、隔壁を越えて隣接する空間へ流れる流体の量を減らすようにすることができる。電極に沿った液体流れを各電極の長手方向に押し出すことにより形成してもよい。

【0104】

また、前述の例では電極にイオン交換体を装着した例を示しているが、電極の形状や加工に用いる液体は、特に限定されない。隣り合う電極の間に、接触部材や隔壁を設けるようにすればよい。即ち、電極の形状は、棒状のものに限られず、被加工物に対して複数の電極が対向するようにした任意の形状が選択される。電極にイオン交換体以外の通液性または含液性スクラブ部材を取付けるようにしてもよい。また、接触部材や隔壁を電極面よりも高くして、被加工物と電極が直接接しないようにすることで、電極の表面を露出させることができる。電極表面にイオン交換体を装着しない場合でも、被加工物と電極の間の流体の流れを仕切る第 2 の隔壁はあった方が好ましい。

【0105】

図 23 は、本発明の電解加工方法を行うのに適した更に他の電解加工装置の概要を示す。この電解加工装置は、基板を着脱自在に保持する基板保持部 134 と、この基板保持部 134 の直径の 2 倍以上の直径を有する回転（自転）自在な電極部 136 を上下に備えている。この電極部 136 の上面には、半径方向に放射状に延びる複数の加工電極 152 が設けられ、この各加工電極 152 を挟んだ両側に、直線状に延びる各一对の給電電極 154 が配置されている。そして、加工電極 152 の上面（表面）には、例えばイオン交換体からなる接触部材 156 が設けられ、給電電極 154 の上面（表面）にも、例えばイオン交換体からなる接触部材 158 が設けられている。

【0106】

この例では、加工電極 152 は、図示しないスリップリングを介して電源の陰極に、給電電極 154 は、図示しないスリップリングを介して電源の陽極にそれぞれ接続される。これは、例えば銅にあっては、陰極側に電解加工作用が生じるからであり、被加工材料によつては、陰極側が給電電極となり、陽極側が加工電極となるようにしてもよいことは前述と同様である。

【0107】

この例にあっては、基板保持部 134 を電極部 136 上に所定に位置に位置させて下降させ、この基板保持部 134 で保持した基板 W を、電極部 136 の上面に取付けた加工電極 152 及び給電電極 154 の表面を覆う接触部材 156、158 の表面に接触させる。この状態で、加工電極 152 と給電電極 154 との間に電源から所定の電圧を印加しつつ、基板保持部 134 と電極部 136 を回転（自転）させる。同時に、基板保持部 134 で保持した基板 W と接触部材 156、158 との間に、純水、好ましくは超純水等の供給し、これによって、基板 W の表面の電解加工が行われる。

【0108】

この電解加工装置によれば、電極（加工電極 152 及び給電電極 154）と基板保持部 134 で保持した基板との相対速度を一定に保ちながら、単純な回転によって加工を行うことができ、しかも、電極（加工電極 152 及び給電電極 154）と基板との相対速度を、例えばスクロール型と比較して、より速くすることができる。

【0109】

これまで本発明の一実施形態について説明したが、本発明は上述の実施形態に限定されず、様々な形態の電解加工に適用でき、その技術的思想の範囲内において種々異なる形態にて実施されてよいことは言うまでもない。

【図面の簡単な説明】

【0110】

【図 1】銅配線基板の一製造例を工程順に示す図である。

【図 2】被加工物と加工電極との間の相対速度と加工速度との関係を示すグラフである。

【図 3】被加工物と加工電極との間の相対速度が異なる場合におけるハイドロプレーニング現象の説明に付する図である。

【図 4】被加工物と加工電極との間の相対速度が異なる場合における反応生成物の濃度変化の説明に付する図である。

【図 5】加工量と段差の関係を示すグラフである。

【図 6】被加工物と加工電極との間の相対速度が異なる場合における反応生成物の濃度変化の説明に付する図である。

【図 7】被加工物と加工電極との間の相対速度が異なる場合におけるイオン交換体の変形の説明に付する図である。

【図 8】加工電極及び給電電極を基板（被加工物）に近接させ、加工電極及び給電電極と基板（被加工物）との間に純水または電気伝導度が $500 \mu S/cm$ 以下の液体を供給するようにしたときの本発明による電解加工の原理の説明に付する図である。

【図 9】本発明の実施の形態における電解加工方法を行う電解加工装置を備えた基板処理装置の構成を示す平面図である。

【図 10】図 9 に示す基板処理装置の電解加工装置を示す平面図である。

【図 11】図 10 の縦断面図である。

【図 12】図 12 (a) は、図 10 の電解加工装置における自転防止機構を示す平面図、図 12 (b) は、図 12 (a) の A-A 線断面図である。

【図 13】図 10 の電解加工装置における電極部を示す平面図である。

【図 14】図 13 の B-B 線断面図である。

【図 15】図 14 の部分拡大図である。

【図 16】本発明の電解加工方法における被加工物（基板）と加工電極（電極）との間の相対速度と時間との関係の一例を示すグラフである。

【図 17】本発明の電解加工方法における被加工物（基板）と加工電極（電極）との間の相対速度と時間との関係の他の例を示すグラフである。

【図 18】本発明の電解加工方法における被加工物（基板）と加工電極（電極）との間の相対速度と時間との関係の更に他の例を示すグラフである。

【図 19】本発明の電解加工方法における被加工物（基板）と加工電極（電極）との間の相対速度と時間との関係の更に他の例を示すグラフである。

【図 20】本発明の電解加工方法における被加工物（基板）と加工電極（電極）との間の相対速度と時間との関係の更に他の例を示すグラフである。

【図 21】本発明の電解加工方法を行うのに適した他の電解加工装置の要部を示す縦断面図である。

【図 22】図 21 の要部を拡大して示す要部拡大図である。

【図 23】本発明の電解加工方法を行うのに適した更に他の電解加工装置の概要を示す平面図である。

【符号の説明】

【0111】

6 銅膜

7 シード層

10 被加工物

12 a, 12 b イオン交換体

14 加工電極

16 給電電極

18 液体

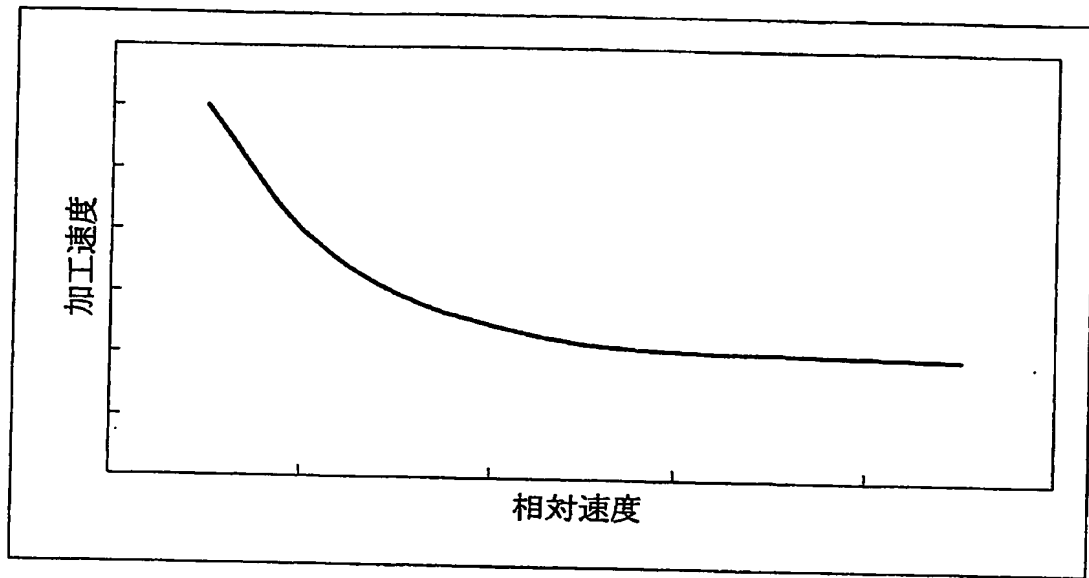
20 水分子

22 水酸化物イオン

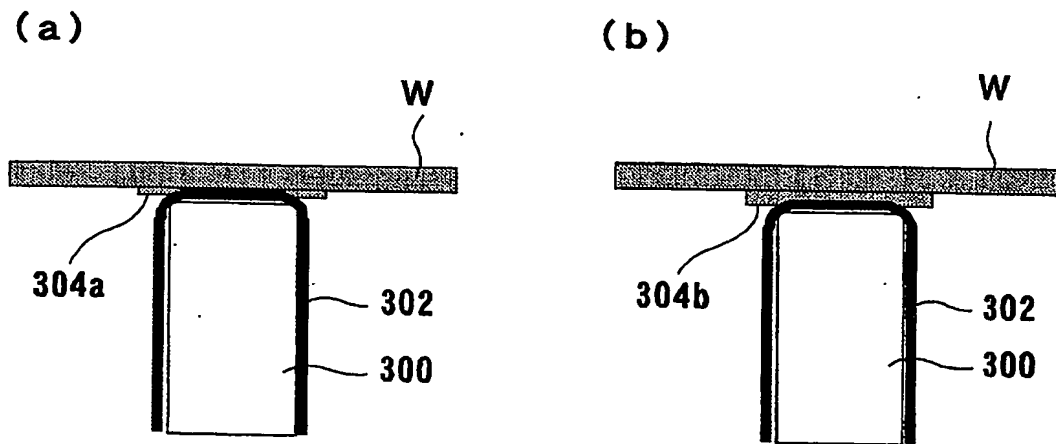
24 水素イオン
26 反応物質
30 ロード・アンロード部
31 a, 31 b 洗浄機
32 反転機
34 電解加工装置
36 搬送ロボット
38 制御部
40 アーム
42 基板保持部
44 可動フレーム
46 電極部
48 電源
50 上下動用モータ
56 往復動用モータ
58 自転用モータ
60 中空モータ
62 主軸
66 自転防止機構
80 連結部材
82 電極部材
84 ベース
85 保持プレート
86 電極
88, 90 イオン交換体
92 流路
94 純水供給管
96 純水噴射ノズル
98 噴射口
134 基板保持部
136 電極部
152 加工電極
154 給電電極
156, 158 接触部材
200 渦電流センサ
202 信号処理装置
600 電解加工装置
602 基板保持部
604 電極部
608 電極部材
610 容器
612 液体供給ノズル
614 a 加工電極
614 b 給電電極
616 a, 616 b イオン交換体
618 a, 618 b イオン交換体
620 液体供給ノズル
626 電極ベース
628 保持プレート
630 隔壁

6 3 2, 6 3 4 流路
6 3 6 オーバフロー路

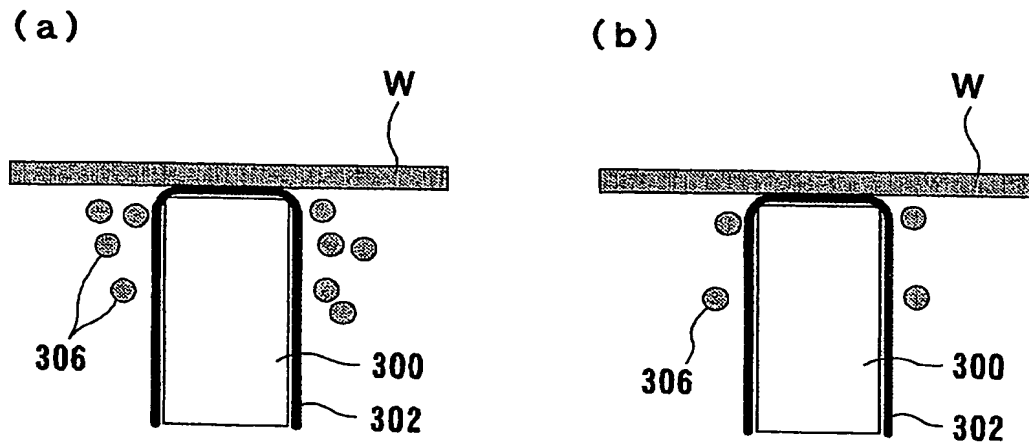
【図 2】



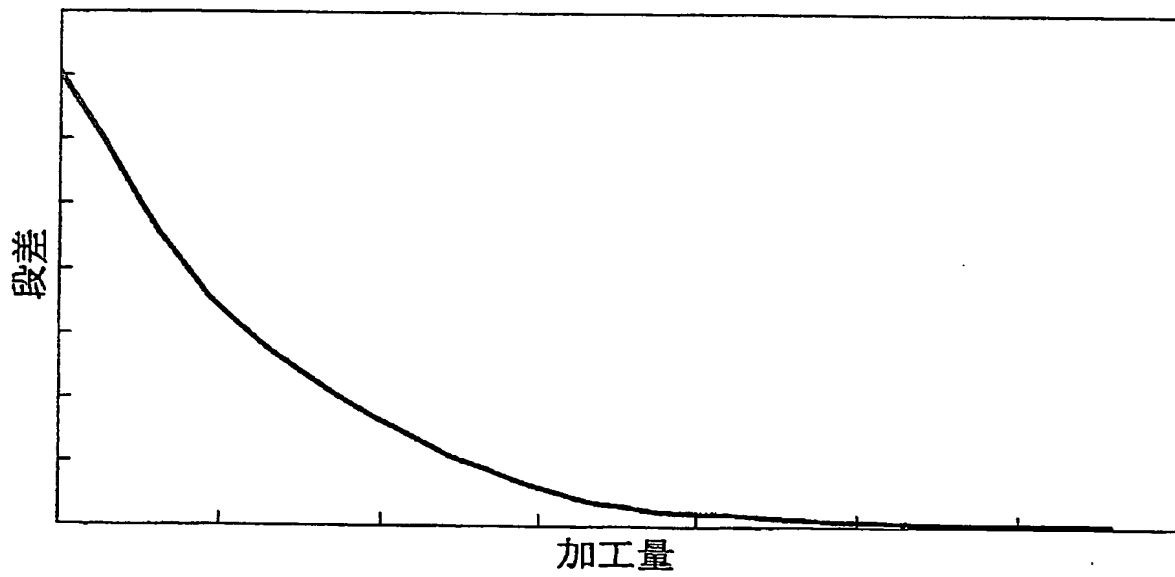
【図 3】



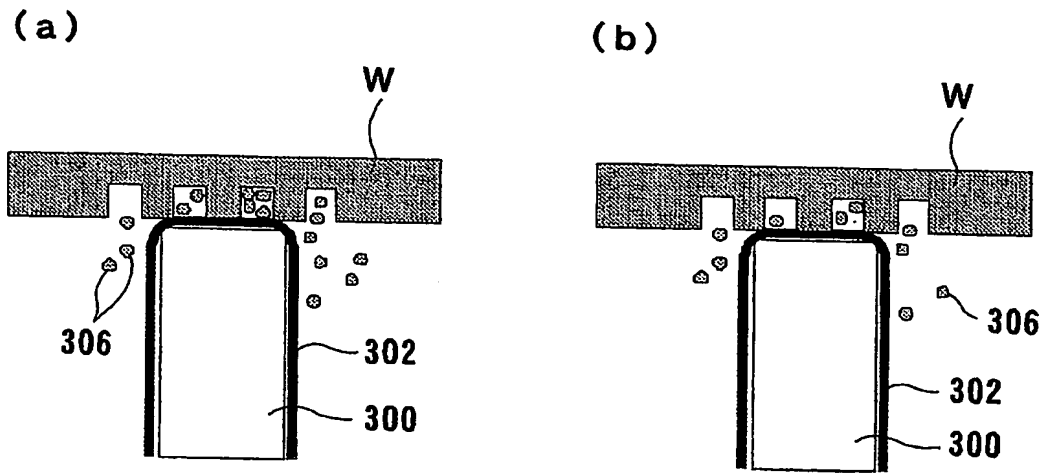
【図 4】



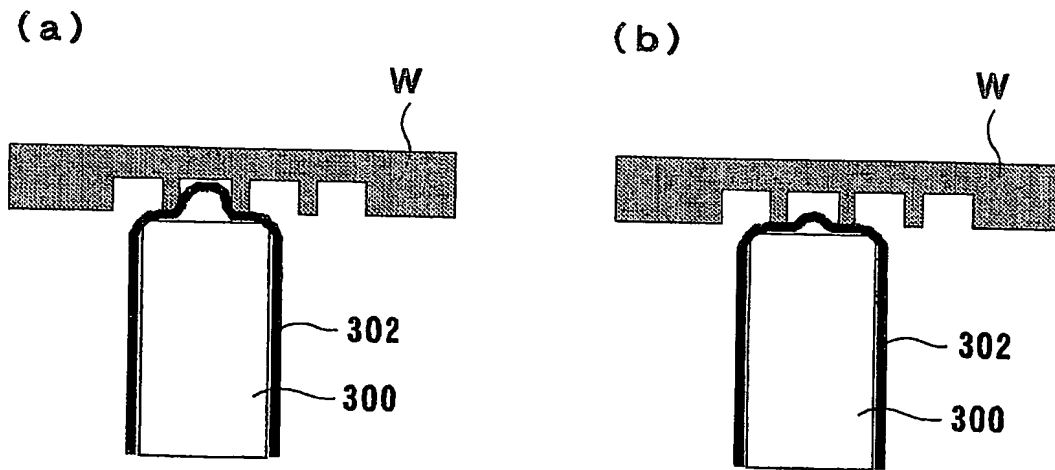
【図 5】



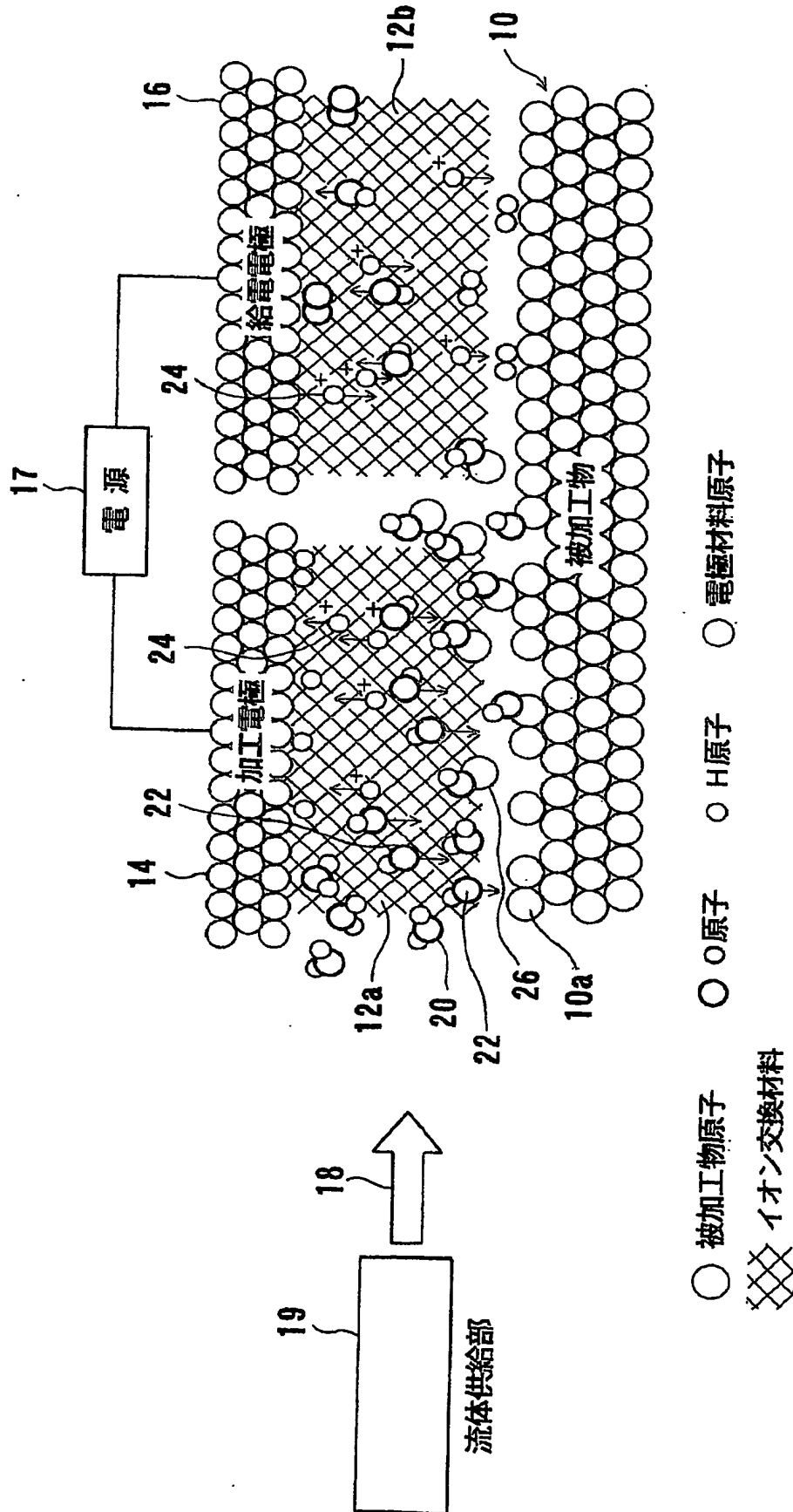
【図 6】



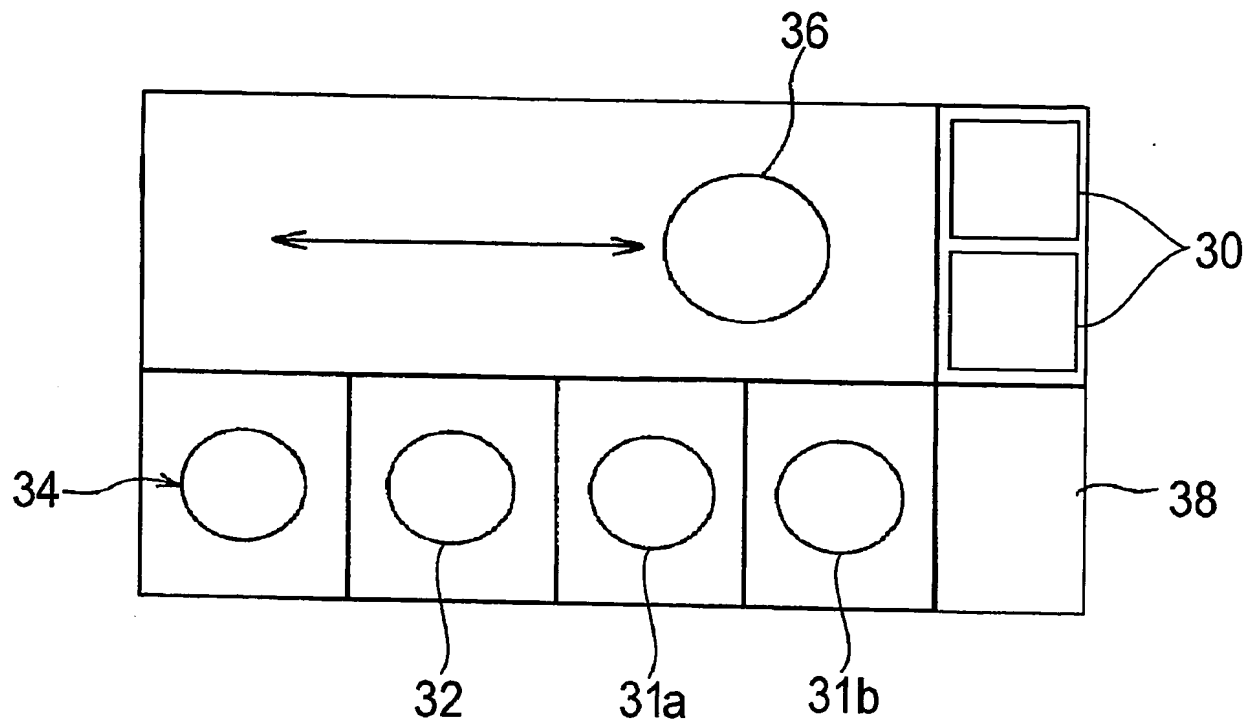
【図 7】



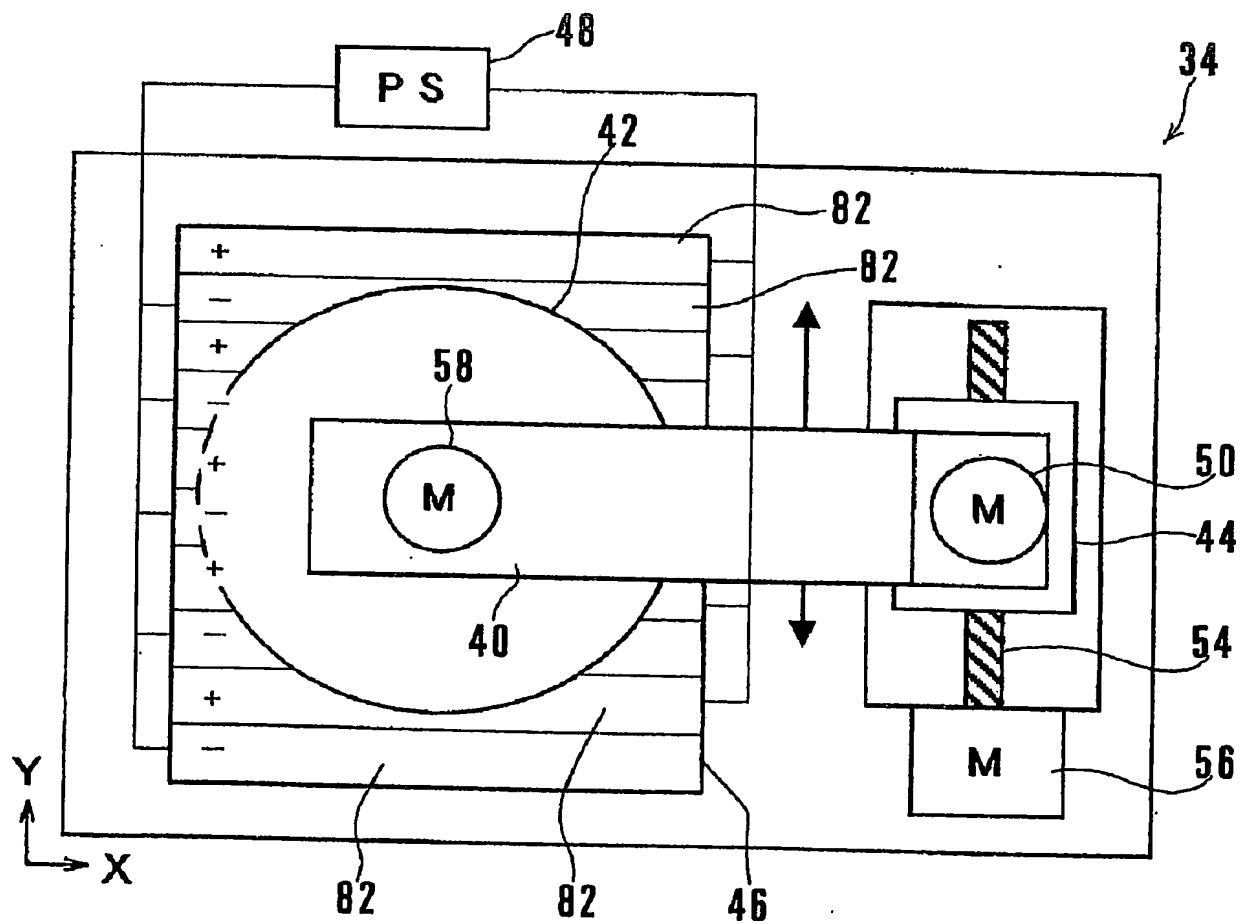
【図 8】



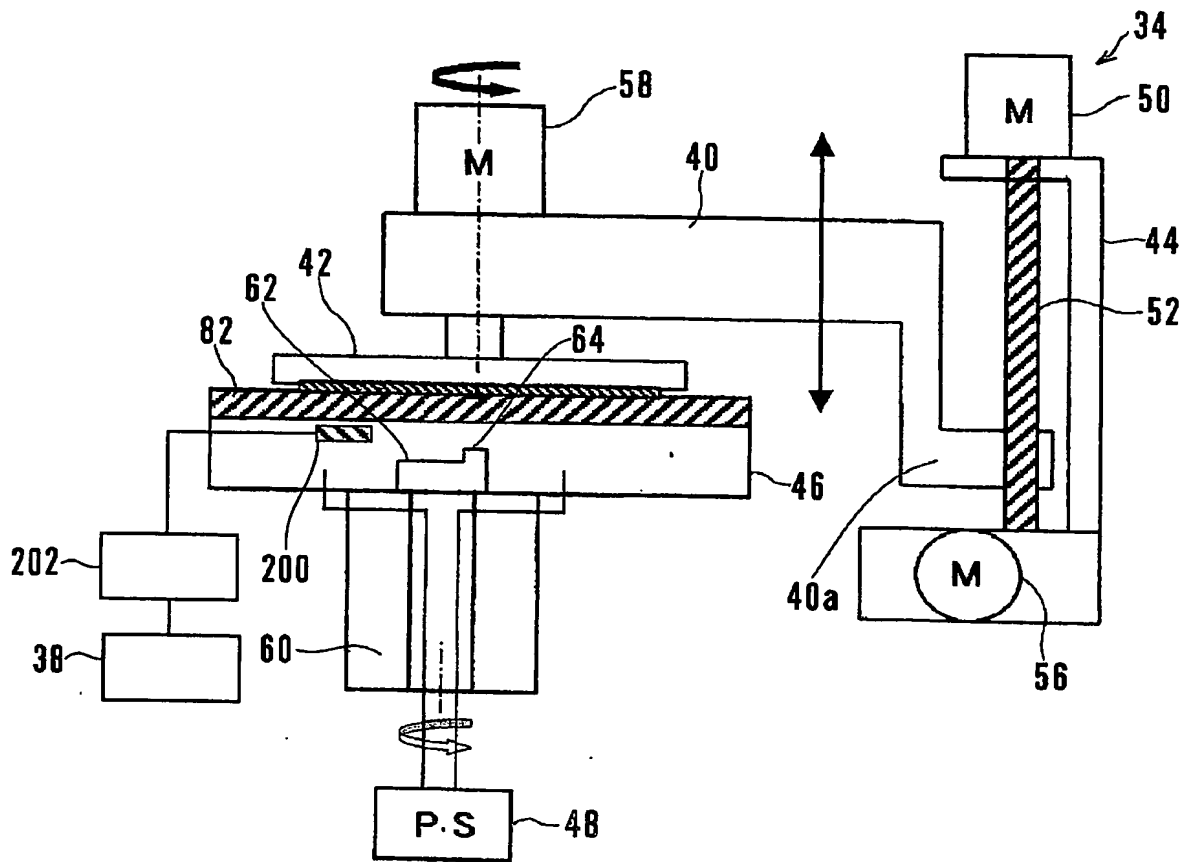
【図 9】



【図 10】

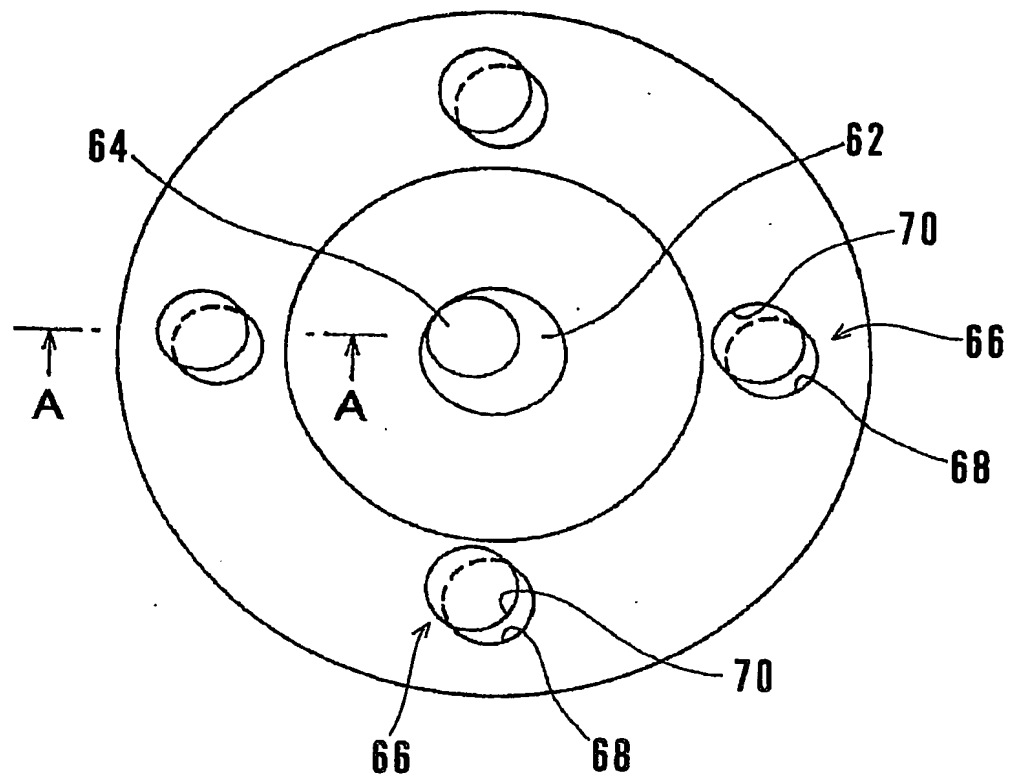


【図 11】

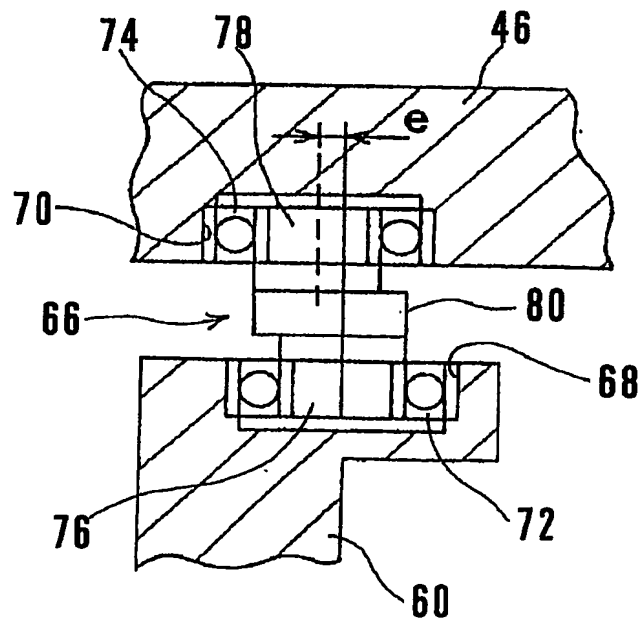


【図 12】

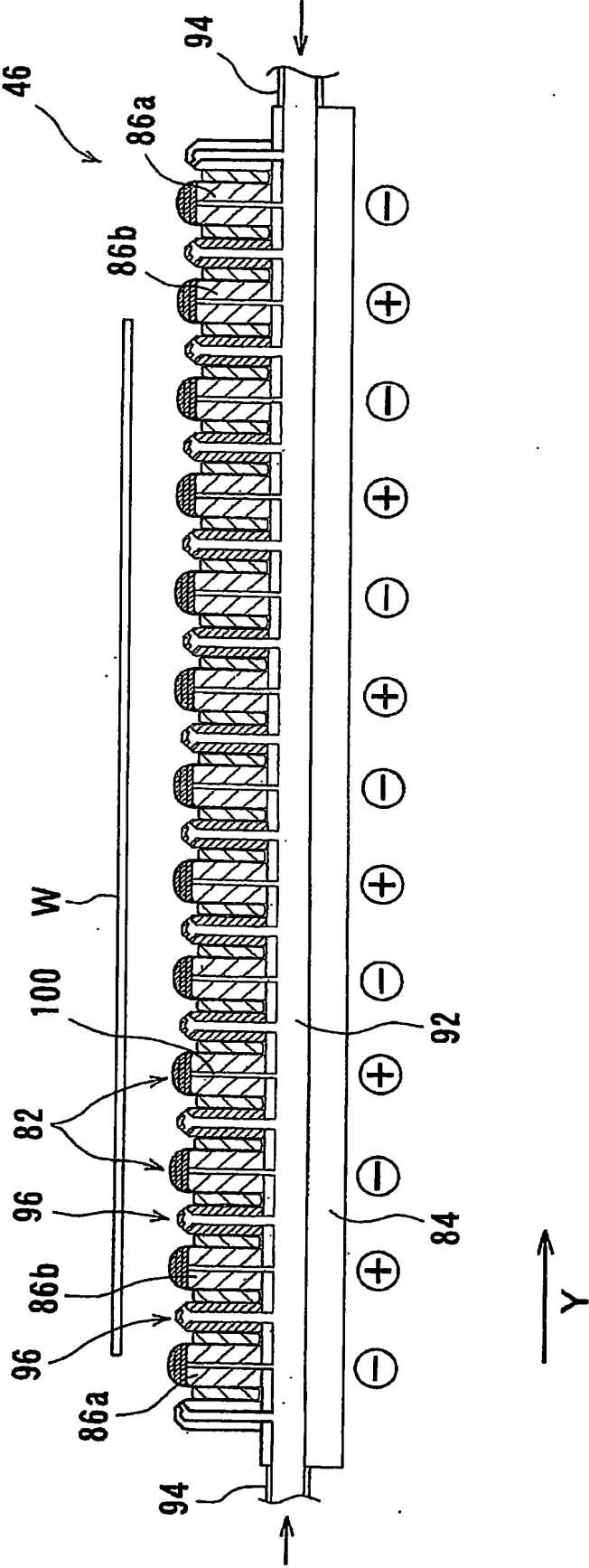
(a)



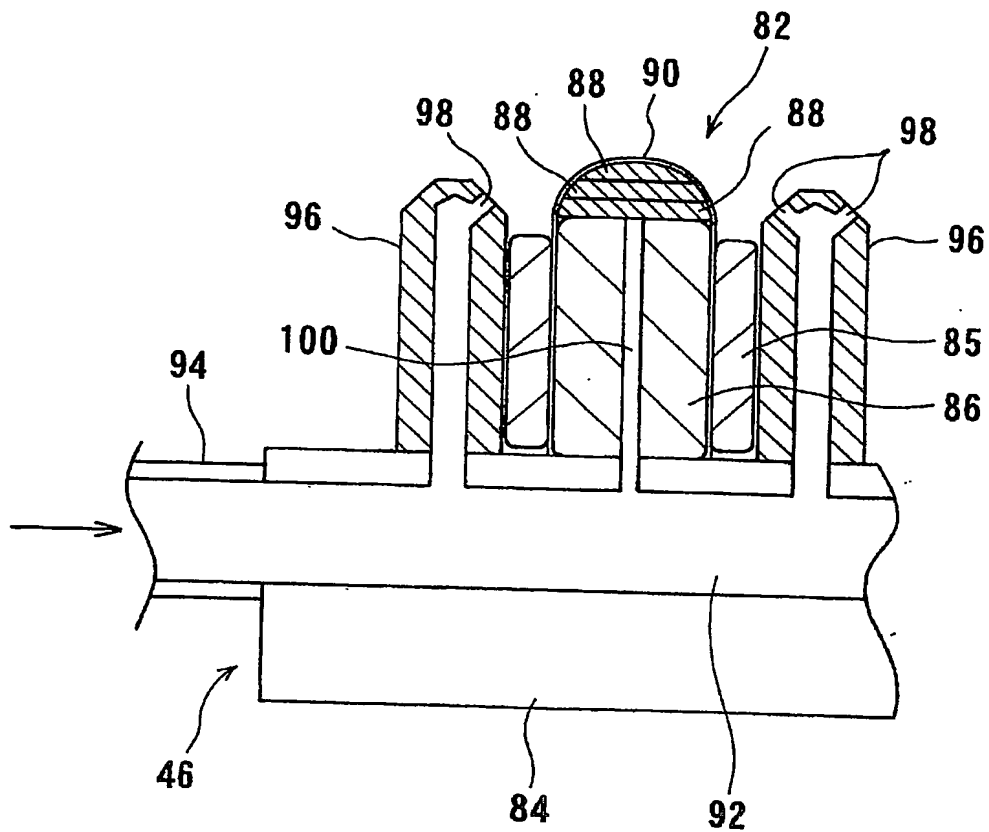
(b)



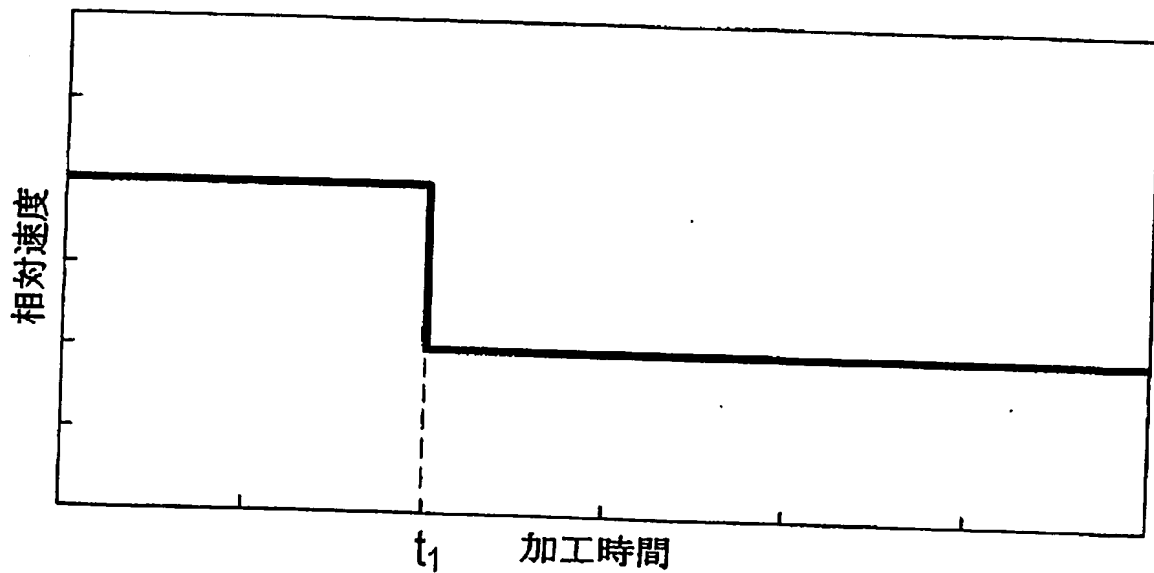
【図14】



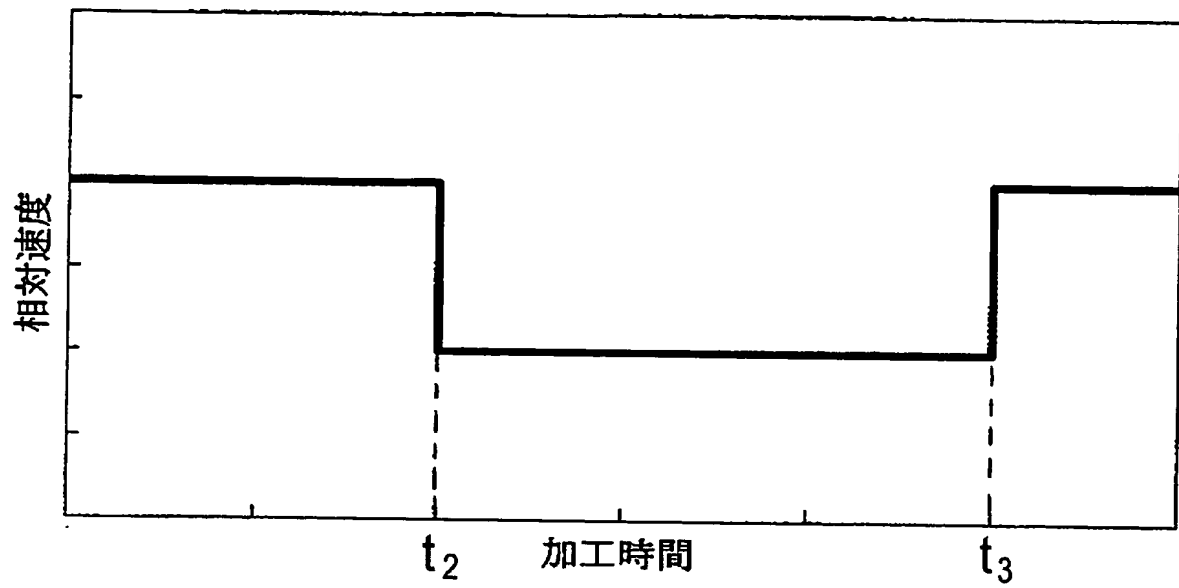
【図 15】



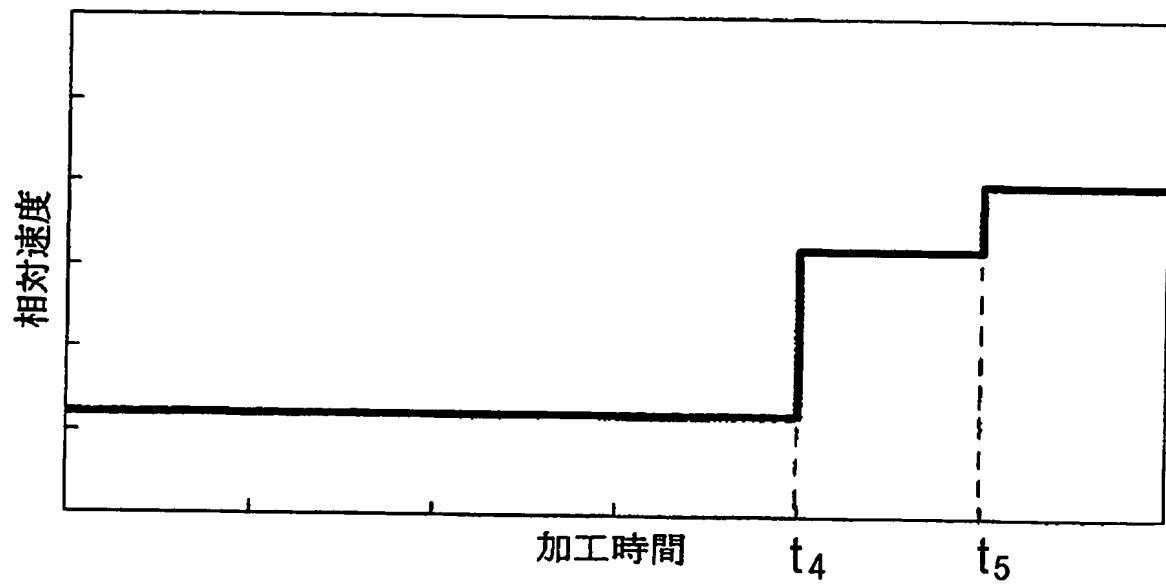
【図 16】



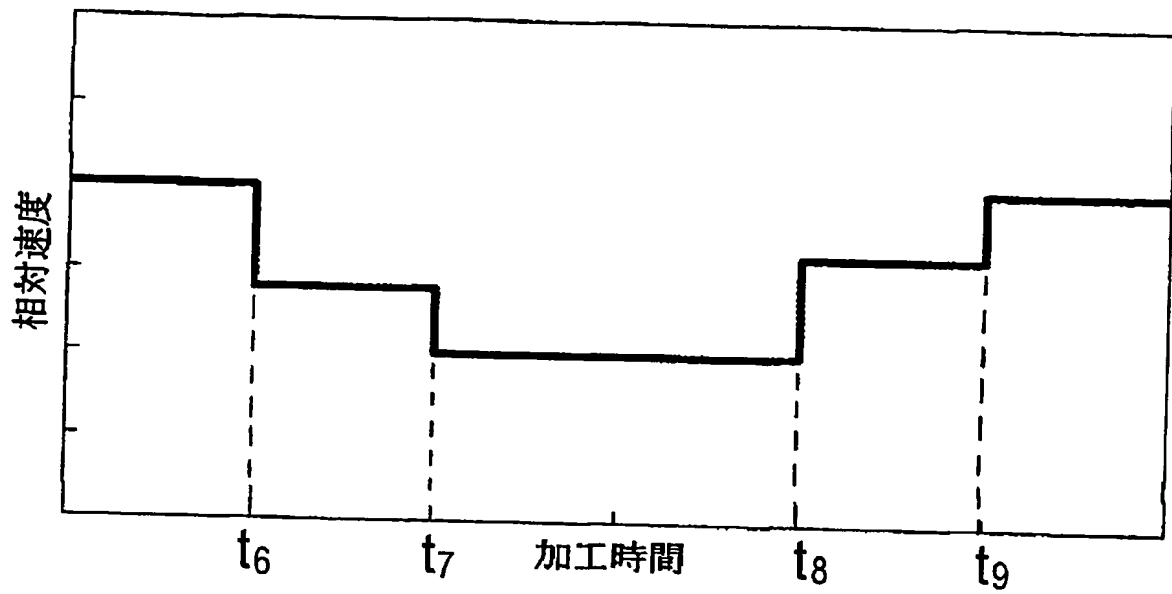
【図 17】



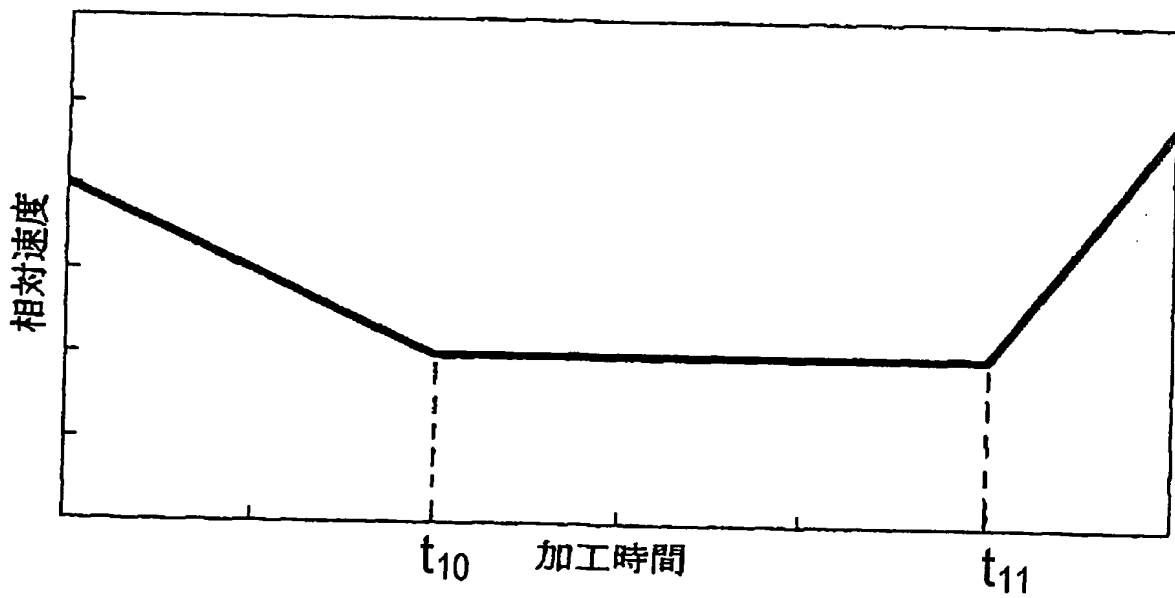
【図 18】



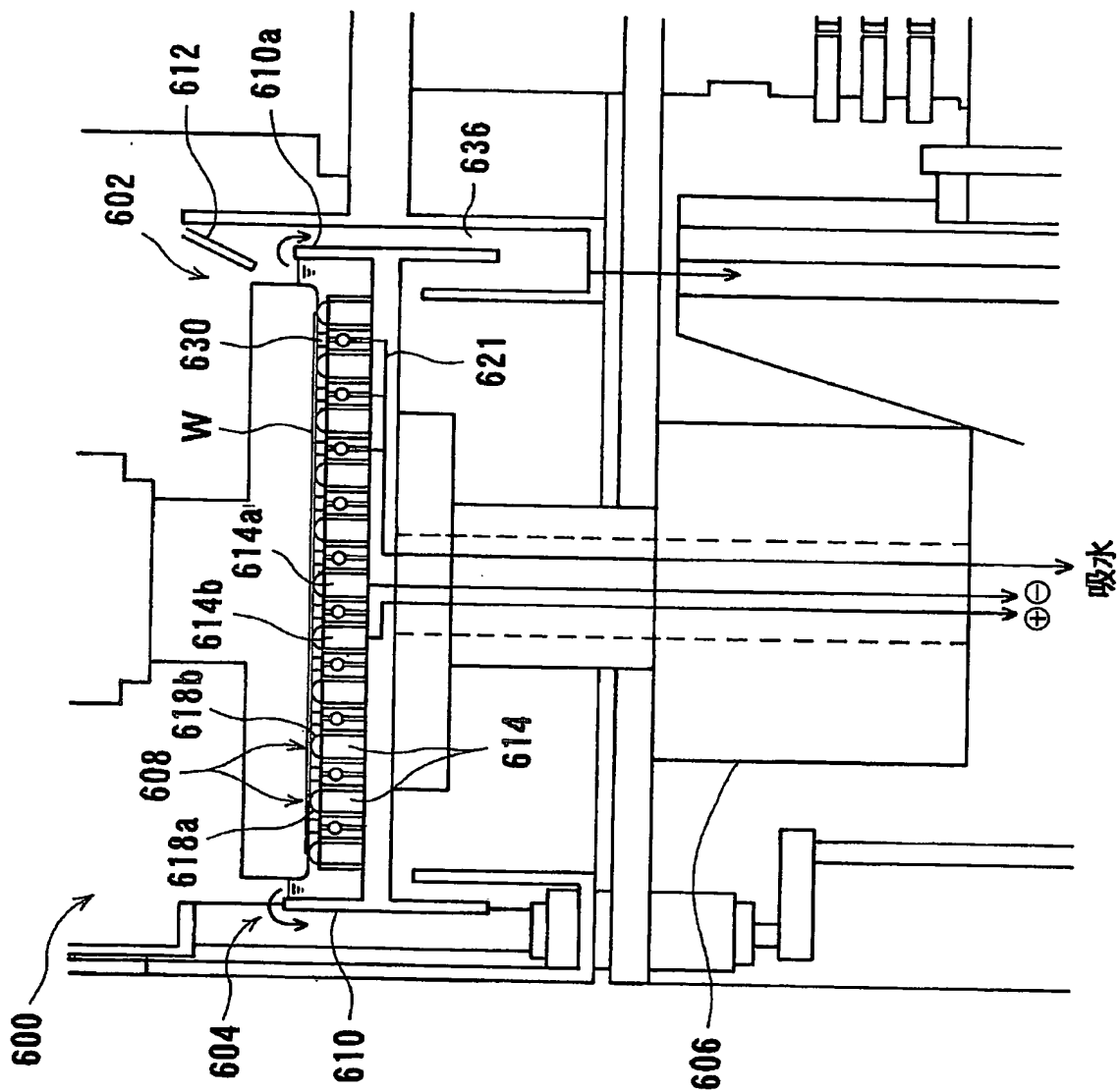
【図 19】



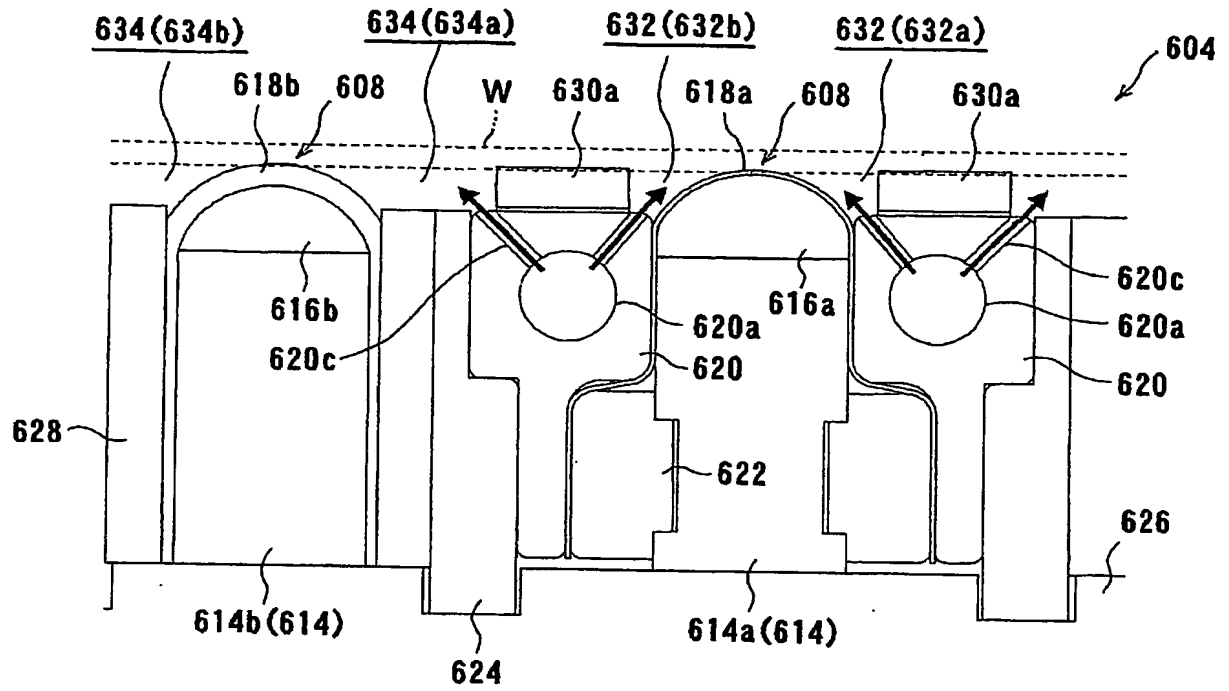
【図 20】



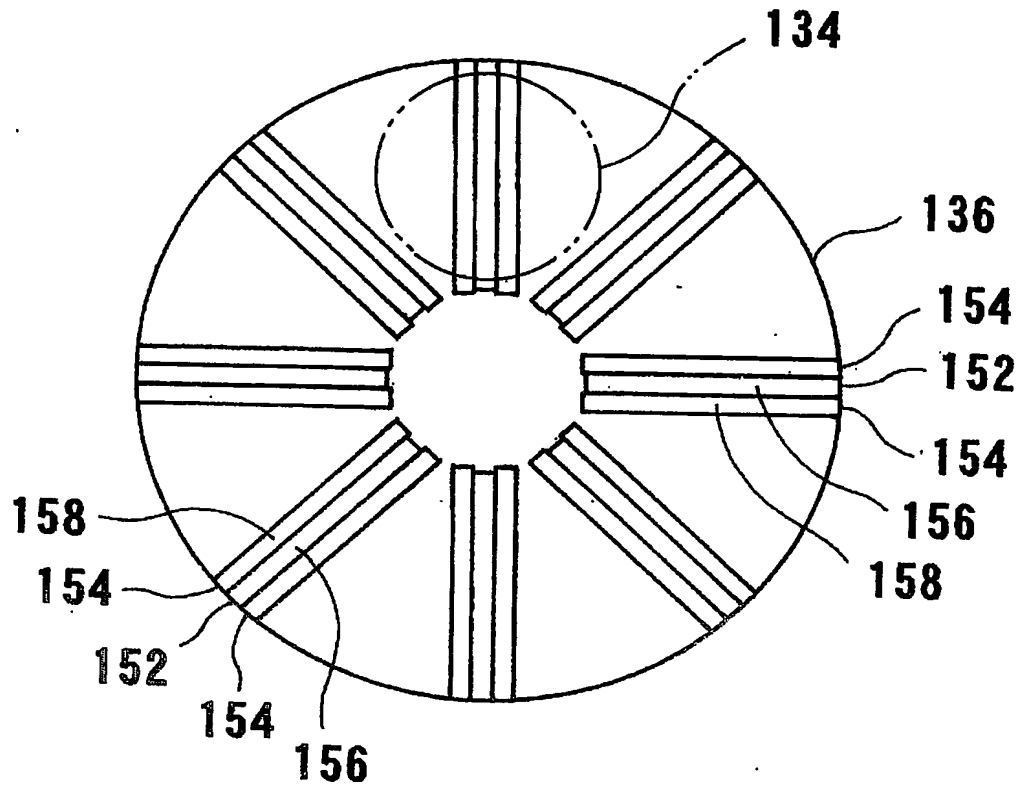
【図 21】



【図 22】



【図 23】



【書類名】要約書

【要約】

【課題】 例えばトレンチの内部の埋込みに使用された銅等の余剰な金属を、段差解消能力を高めつつ除去して平坦化し、しかも加工時間の短縮を図れるようにする。

【解決手段】 被加工物と加工電極とを互いに近接または接触させ、液体の存在下で、被加工物と加工電極との間に電圧を印加しつつ、両者を相対運動させて加工を行う電解加工方法であって、被加工物と加工電極との間の相対速度を加工初期では速く、加工後期では遅くする。

【選択図】 図 16

特願 2004-007123

ページ: 1/E

出願人履歴情報

識別番号

[000000239]

1. 変更年月日
[変更理由]
住所
氏名

1990年 8月31日
新規登録
東京都大田区羽田旭町11番1号
株式会社荏原製作所